

6A 728 7483

✻ Voigtländers Quellenbücher ✻

..... Band 75

09618
Die Entdeckung
der Elektrizität

Dargestellt von

Friedrich Dannemann

Mit 25 Abbildungen

Z: 67



∞ R. Voigtländers Verlag in Leipzig ∞



9.12.20

10.4.13

10.4.13

Altenburg
Pierer'sche Hofbuchdruckerei Stephan Weibel & Co. 2151.

Vorwort.

Dieses Quellenbuch, das von der Entdeckung der Elektrizität in ihren wichtigsten Wirkungen handelt, setzt eine elementare, durch Versuche vermittelte Kenntnis der wichtigsten, für dieses Gebiet in Betracht kommenden Erscheinungen voraus. Im Anschluß daran will es den Leser mit den Wegen bekannt machen, auf denen die großen Bahnbrecher der Wissenschaft zur Entdeckung derjenigen grundlegenden Forschungsergebnisse gelangt sind, die auch heute noch den Kern der Elektrizitätslehre bilden. Solchen Untersuchungen und den daran geknüpften Gedankengängen nachzugehen, ist ein Belehrungs- und Erziehungsmittel ersten Ranges. Von den Beobachtungen der Alten an führt die hier gebotene Zusammenstellung über die mit den einfachsten Mitteln unternommenen, planmäßigen Untersuchungen Franklins und anderer Elektriker des 18. Jahrhunderts zu den Forschungen eines Faraday, Herz und der übrigen Begründer der modernen Wissenschaft und Technik. Anmerkungen und knappe, den Zusammenhang vermittelnde Erläuterungen erleichtern das Verständnis. Wie sich die Elektrizitätslehre und die Elektrotechnik im Zusammenhange mit den übrigen Gebieten der Naturwissenschaft entwickelte, habe ich an anderer Stelle eingehend darzustellen gesucht (Die Naturwissenschaften in ihrer Entwicklung und in ihrem Zusammenhange. 4 Bde. Leipzig, W. Engelmann 1910—1913).

Friedrich Dannemann.

Inhalt.

09613

	Seite
I. Einleitung	5
II. Benjamin Franklins Verdienste um die Begründung der Lehre von der Reibungselektrizität	12
III. Äpinus über die Influenz und die Pyroelektrizität	19
IV. Chemische Wirkungen der Reibungselektrizität	26
V. Die Entdeckung der galvanischen oder der Berührungselektrizität	29
VI. Volta erfindet die galvanische Säule	37
VII. Davy untersucht die chemische Wirkung der galvanischen Säule.	47
VIII. Licht- und Wärmewirkung des elektrischen Stromes	56
IX. Magnetische Wirkungen des elektrischen Stromes	58
X. Die Entdeckung der dynamischen Wirkung der Elektrizität	62
XI. Die Entdeckung der Thermoelektrizität.	66
XII. Die Entdeckung der galvanischen und der magnetischen Induktion	71
XIII. Akustische Wirkungen der Elektrizität	80
XIV. Faraday entdeckt eine Wirkung des Magnetismus und der Elektrizität auf das Licht und gewinnt damit die experimentelle Grundlage für eine elektromagnetische Theorie des Lichtes.	81
XV. Die Entdeckung von elektrischen Wellen und Strahlen elektrischer Kraft	87
Verzeichnis der Abbildungen	107

I. Einleitung.

Die Elektrizitätslehre ist in der Hauptsache eine Schöpfung der letzten beiden Jahrhunderte. Im Altertum kam man auf dem Gebiete der Elektrizität über einige rohe Beobachtungen und unklare Deutungen nicht hinaus. Das meiste von dem, was die Alten von den elektrischen Erscheinungen wußten, findet sich in der „Naturgeschichte“ des Plinius (23—79 n. Chr. lebend) in zerstreuten Angaben wiedergegeben. Von dem Bernstein sagt Plinius:

„... Übrigens zieht Bernstein, wenn er durch Reiben mit den Fingern Lebenswärme erhalten hat, trockene Blätter, Spreu und Bast gerade so wie der Magnet das Eisen an.“¹⁾

Den Bernstein nannten die Alten *Elektrum*. Aus diesem Worte ist die Bezeichnung „Elektrizität“ für die am Bernstein zuerst beobachtete, von Plinius beschriebene Eigenschaft entstanden.

Daß das Gewitter eine elektrische Erscheinung ist, ahnten die Alten noch nicht. Plinius spricht vom Blitz und vom Donner mit folgenden Worten:

„Bricht der Wind aus einer größeren Höhlung einer herabgedrückten Wolke hervor, so nennt man ihn Orkan. Hat sich der Wind in dem Augenblicke, in dem er die Wolke durchbrach, entzündet, so ist er ein Blitz. Daß man den Blitz eher sieht, als man den Donner hört, obgleich sie zugleich entstehen, ist gewiß nicht zu verwundern, da das Licht schneller ist als der Schall. Blitz und Donner erfolgen gleichzeitig, so hat es die Natur geordnet.“²⁾

Auch mit den stillen elektrischen Entladungen, die man als Elmsfeuer bezeichnet, waren die Alten wohl bekannt. Plinius beschreibt die Erscheinung folgendermaßen: „Es

¹⁾ Plinius, Naturgeschichte, Buch 37, Kap. 12.

²⁾ Plinius, Naturgeschichte, Buch 2, Kap. 50 und 55.

entstehen sogar auch Sterne zu Wasser und zu Lande. Ich selbst sah bei dem nächtlichen Wachtdienst der Soldaten auf den Speeren außerhalb des Walles einen Lichtschein von dieser Gestalt haften. Auch auf die Rahen und andere Teile der Schiffe setzen sich dergleichen Sterne mit einem eigentümlichen, vernehmbaren Ton, wobei sie, wie Vögel, ihren Sitz oft wechseln.“¹⁾

Auch mit den Grunderscheinungen der tierischen Elektrizität waren die Alten bekannt, selbstverständlich, ohne ihre Ursache im entferntesten ahnen zu können. So schreibt Plinius vom Zitterrochen: „Er kennt seine lähmende Kraft, verbirgt sich, auf dem Rücken liegend, im Schlamm, macht die unbesorgt über ihn hinschwimmenden Fische starr und packt sie dann.“¹⁾

Ein griechischer Schriftsteller schildert das Verhalten des Zitterrochens mit folgenden Worten: „Dem Zitterrochen steht ein gefährliches Gift zu Gebote.“ Von Natur ist er schwach und so langsam, daß es aussieht, als könne er nur kriechen. Er besitzt auf jeder Seite ein Gewebe, das denjenigen, der es berührt, sogleich jeder Kraft beraubt, sein Blut erstarren macht und seine Glieder lähmt.“

Plinius fügt seiner Schilderung noch hinzu, der Zitterrochen lähme „selbst aus der Ferne, sobald man ihn nur mit der Lanze berühre“. Man ersehe daraus, „daß es unsichtbare Kräfte gebe“.

Zur Erklärung der elektrischen, sowie der ebenso rätselhaften magnetischen Erscheinungen nahmen die Griechen dazu ihre Zuflucht, daß sie dem Bernstein und dem Magnetstein eine Seele, in der sie das bewegende Prinzip erblickten, zuschrieben. Eine mechanische Erklärung versuchte der Römer Lukrez (98—55 v. Chr.). In seiner Schrift „Von der Natur der Dinge“ (*De rerum natura*) schildert er die magnetischen Erscheinungen. Er beschreibt z. B. die bei Uneingeweihten das größte Staunen erregenden, schon Plato bekannten Ketten, welche aus eisernen, magnetisch gemachten Ringen bestanden, die nicht ineinandergriffen, sondern sich nur berührten. Eine Erklärung findet Lukrez

¹⁾ Plinius, Naturgeschichte, Buch 2, Kap. 37.

²⁾ Plinius, Naturgeschichte, Buch 9, Kap. 67.

darin, daß nach ihm vom Magneten Theilchen ausströmen, welche die benachbarte Luft zurückdrängen. „Infolgedessen stürzen urplötzlich des Eisens Stoffe sich hin nach dem Leeren.“

Eine scharfe Trennung der magnetischen und der elektrischen Erscheinungen verdankt man dem Engländer Gilbert (1540—1603), dem Leibarzt der Königin Elisabeth. Er war gleich Galilei, Guerike und Kepler einer der ersten, der auf dem Wege des Experiments die Natur zu erforschen suchte. Mit dem Erscheinen seines Buches über den Magneten (1600) beginnt die wissenschaftliche Behandlung der Lehre von der Elektrizität und dem Magnetismus. Folgende Stelle aus dem Werke Gilberts möge hier Erwähnung finden:

„Die Ursache der magnetischen Bewegungen ist von den Kräften des Bernsteins sehr verschieden. Die alten und auch neuere Schriftsteller erwähnen, daß der Bernstein Spreu anzieht. Dasselbe tut auch der Gagat, der in England, Deutschland und vielen anderen Ländern aus der Erde gegraben wird. Aber nicht nur diese beiden Stoffe ziehen kleine Körper an, sondern der Diamant, Saphir, Rubin, Opal, Amethyst, Beryll und Bergkristall zeigen das gleiche Verhalten. Ähnliche anziehende Kräfte scheint auch das Glas zu besitzen. Auch Schwefel und Harz ziehen an.

Alle diese Substanzen ziehen nicht bloß Spreu an, sondern auch sämtliche Metalle, Holz, Blätter, Steine, Erde, sogar Wasser und Öl, kurz alles, was durch unsere Sinne wahrgenommen werden kann. Damit man aber durch Versuche feststellen kann, wie diese Anziehung stattfindet, und welches die Stoffe sind, die alle Körper auf solche Weise anziehen, richte man sich einen 3—4 Zoll langen Zeiger aus irgendeinem Metall her und bringe ihn auf der Spitze einer Nadel, ähnlich wie bei einem Kompaß, leicht beweglich an. Nähert man dann diesem Zeiger Bernstein oder Bergkristall, nachdem man sie etwas gerieben hat, so wird der Zeiger sofort in Bewegung geraten.

Der Magnet äußert seinen Magnetismus ohne vorhergehendes Reiben, sowohl im trockenen als auch im feuchten Zustande, in der Luft wie im Wasser, ja selbst wenn die dichtesten Körper, seien es Platten aus Holz und Stein

oder Scheiben aus Metall dazwischen gebracht sind. Der Magnet wirkt nur auf magnetische Körper, während elektrische Substanzen alles anziehen. Auch vermag der Magnet bedeutende Lasten zu tragen, während der elektrisierte Körper nur sehr kleine Gewichte anzuziehen vermag.“

Ein weiterer erheblicher Fortschritt auf diesem Gebiete ist dem Deutschen Otto von Guericke zu verdanken. Guericke wurde 1602 in Magdeburg geboren. Bei der Zerstörung seiner Vaterstadt durch Tilly (im Jahre 1631) rettete Guericke nur das nackte Leben¹⁾. Nach dem Wiederaufbau Magdeburgs wurde Guericke zum Bürgermeister



Abb. 1. Die erste Elektrifiziermaschine, erfunden von Guericke.

dieser Stadt gewählt. Bekannt ist er durch die Erfindung der Luftpumpe und die zahlreichen Versuche, die er mit diesem Apparat anstellte, geworden²⁾. Guericke erfand auch die erste, zwar noch sehr einfache Elektrifiziermaschine. Sie findet sich in seinem großen, in der Hauptsache von der Luftpumpe und dem Luftdruck handelnden Werke abgebildet und beschrieben (siehe die obenstehende Abb. 1).

¹⁾ Die Zerstörung Magdeburgs hat Guericke selbst geschildert. Sein Bericht ist im 6. Bändchen von Voigtländers Quellenbüchern wiedergegeben.

²⁾ Die Schrift, in der Guericke von der Erfindung der

Zu ihrer Herstellung füllte Guericke eine Glasugel mit geschmolzenem Schwefel. Nach dem Erkalten wurde das Glas zererschlagen und die so erhaltene Schwefelugel auf eine Achse gesteckt, die auf zwei Stützen ruhte. Als Reibzeug diente die trockene Hand; ein Konduktor fehlte noch. Immerhin war es die erste maschinelle Vorrichtung zum Erzeugen von Elektrizität. Die geriebene Kugel zog Papier, Federn und andere leichte Gegenstände an und führte sie mit sich herum. Wassertropfen, die man in ihre Nähe brachte, gerieten in eine wallende Bewegung. Auch wurde ein Leuchten und ein Geräusch wahrgenommen, wenn man der Schwefelugel nach dem Reiben den Finger näherte. Vermittels dieser Maschine entdeckte Guericke auch die von Gilbert noch übersehene Abstößung gleichnamig elektrisierter Körper. Gleichzeitig bemerkte er, daß ein von der Kugel abgestoßener Körper wieder angezogen wird, nachdem er mit dem Finger oder mit dem Boden in Berührung gekommen ist. Brachte er z. B. eine Feder zwischen die elektrisierte Kugel und den Fußboden, so hüpfte diese Feder auf und nieder. Auch daß sich die Elektrizität der Kugel vermittels eines leinenen Fadens fortleiten läßt, wurde von Guericke nachgewiesen.

Guericke beobachtete ferner, daß Stoffe elektrisch werden, wenn man sie der durch Reiben elektrisierten Schwefelugel nur nähert. Er war hierin ein Vorläufer von Äpinus, der sich zuerst eingehender mit jener unter dem Namen „Influenz“ bekannten Erscheinung beschäftigte.

Hatte das 17. Jahrhundert die wissenschaftliche Erforschung der Reibungselektrizität begonnen, so gehört der planmäßige Ausbau dieses Gebietes vorzugsweise dem 18. Jahrhundert an. Unter den Elektrikern dieses Zeitraums sind vor allem Dufay, Franklin und Äpinus zu nennen.

Das Ergebnis der Untersuchungen Dufays läßt sich in folgende Sätze zusammenfassen: 1. Ein elektrisierter Körper zieht alle nichtelektrischen an und teilt ihnen Elektrizität mit, worauf er sie wieder abstößt¹⁾. 2. Es gibt

Luftpumpe und seinen Versuchen berichtet, welche die Zeitgenossen als die „Magdeburgischen Wunderdinge“ bezeichneten, bildet den Gegenstand des 20. Bändchens von Voigtländers Quellenbüchern.

¹⁾ Diese Beobachtung läßt sich am einfachsten machen, wenn

zwei verschiedene Arten der Elektrizität, die Glas- und die Harzelektrizität. Zu der in dem zweiten Satze ausgesprochenen wichtigen Entdeckung war Dufay durch folgenden Versuch gelangt. Er hatte angenommen, daß ein leichter, elektrisierter Körper von jedem anderen gleichfalls elektrisierten Körper auf Grund des ersten Satzes abgestoßen werde. Als er nun aber einem mit einem Glasstab elektrisierten Plättchen geriebenes Harz näherte, wurde es von diesem angezogen. Dufay unterschied aus diesem Grunde Glas- und Harzelektrizität, die später als positive und negative Elektrizität bezeichnet wurden.

Dufay machte auch zuerst auf den Zusammenhang zwischen dem Leitungsvermögen und der Elektrifizierbarkeit aufmerksam. Er erkannte nämlich, daß es die schlechten Leiter sind, die sich durch Reiben elektrisieren lassen. Man fing nun an, die Nichtleiter in ausgedehnter Weise als Isolatoren zu benutzen. So gelang es Dufay, einen an seidenen Stricken hängenden Menschen zu elektrisieren und ihm Funken zu entlocken. Man elektrisierte auch Personen, die auf einem Harzfuchsen oder auf einem Schemel mit Glasfüßen (Isolierschemel) standen.

Die weitere Erforschung der Reibungselektrizität wurde dadurch sehr gefördert, daß man nach dem Vorgange Guerides zur Anwendung maschineller Vorrichtungen schritt. Einem Leipziger Professor der Physik wurde um 1740 von einem seiner Zuhörer der Vorschlag gemacht, sich das mühevollen Reiben der Glasröhre dadurch zu ersparen, daß er eine Glaskugel in Drehung versetzte. Ein Leipziger Handwerker brachte diesen Vorschlag zur Ausführung. Er versah den neuen Apparat mit einem Reibzeug, das aus einem wollenen Kissen bestand. Im weiteren Verlauf des 18. Jahrhunderts ersetzte man die Glaskugel durch die handlichere Glascheibe, brachte daneben einen isolierten Metallkörper als Konduktor an und versah das Reibzeug zur Erhöhung der Reibung mit einem Amalgam.

Die Elektrifiziermaschine (Abb. 2) kam nun sozusagen in Mode. In rascher Folge wurden jetzt die wichtigsten

man Hartgummi kräftig mit Wolle reibt und den geriebenen Körper äußerst fein zerschnittenem Seidenpapier nähert.

Wirkungen der Reibungselektrizität entdeckt. Die zündende Wirkung des Funken z. B. wurde an Schießpulver, Äther und anderen brennbaren Stoffen dargetan. Es gelang sogar mittels eines elektrisierten Wasserstrahles Weingeist in Brand zu setzen.

Das Bemühen, Wasser zu elektrisieren, führte zur Erfindung der Leydenen Flasche. Leydenen Physiker suchten Wasser, das sich in einem isolierenden Glasgefäß befand, zu elektrisieren, indem sie es mittels eines Drahtes mit einem durch Reiben elektrisierten Körper in Verbindung brachten. Als der eine von ihnen zufällig das Gefäß in der Hand hielt und mit der anderen Hand den Draht berührte, erhielt er einen empfindlichen Entladungsschlag, der

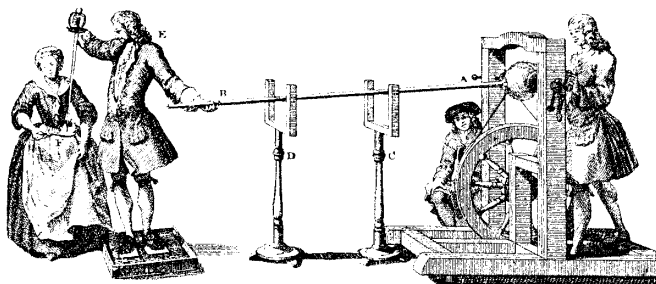


Abb. 2. Elektrifiziermaschine aus der Mitte des 18. Jahrhunderts.

besonders im Arm und in der Brust zu spüren war. Indem man das Wasser und die Hand durch einen inneren und einen äußeren Metallbelag ersetzte, erhielt man die Leydenen Flasche in der heute üblichen Art der Ausführung. Die Priorität der Erfindung der Leydenen Flasche gebührt übrigens dem Deutschen von Kleist, der im Jahre 1745 den soeben beschriebenen Versuch mit dem gleichen Erfolge anstellte. Als bald beobachtete man, daß die Leydenen Flasche die Elektrizität längere Zeit behält, und daß sie sich nicht laden läßt, wenn sie isoliert ist. Zu einem Verständnis dieses Verhaltens gelangte erst Franklin, dem wir neben zahlreichen eigenen Versuchen eine der ersten, ausführlicheren Schilderungen der elektrischen Grundercheinungen verdanken.

II. Benjamin Franklins Verdienste um die Begründung der Lehre von der Reibungselektrizität.

Benjamin Franklin wurde 1706 in der Nähe von Boston geboren. Er lebte als Buchdrucker in Philadelphia. Später widmete er sich bekanntlich ganz den Bestrebungen, die auf eine Loslösung der nordamerikanischen Kolonien von England abzielten. Franklin war einer der führenden Männer in dieser gewaltigen politischen Bewegung.

Zur Beschäftigung mit der Elektrizitätslehre wurde Franklin dadurch angeregt, daß ein Engländer der Bibliotheksgesellschaft in Philadelphia einige Gegenstände für elektrische Versuche übersandt hatte. Mit einem wahren Feuereifer widmete sich Franklin darauf der Erforschung der elektrischen Erscheinungen. Seine Ergebnisse teilte er in einer Reihe von Briefen jenem Engländer ¹⁾ mit, der ihn zu den Versuchen angeregt hatte. Die Briefe entstanden in den Jahren 1747—1755. Sie sind wiederholt in Buchform erschienen. Einiges aus ihrem Inhalt soll hier mitgeteilt werden. Der erste Brief handelt von der Wirkung der Leydener Flasche. Franklin schreibt:

„Wenn der unelektrische Körper, der sich in der Flasche befindet (die innere Belegung nach heutiger Ausdrucksweise), elektrisiert ist, so unterscheidet er sich von anderen außerhalb des Glases elektrisierten Körpern dadurch, daß bei letzteren die Elektrizität sich auf der Oberfläche befindet und rund um diese eine Atmosphäre von merklicher Größe ausmacht. Im ersteren Falle ist dagegen die Elektrizität in die Substanz eingedrungen und von dem Glase eingeschlossen.

Wenn man den Knopf der Leydener Flasche positiv elektrisiert, so wird der Boden der Flasche in gleichem Verhältnis negativ elektrisch. Das heißt, soviel Elektrizität

¹⁾ Sein Name ist Collinson.

durch den Knopf hineingebracht wird, soviel geht aus dem Boden wieder heraus¹⁾).

Das Gleichgewicht kann auf keine Weise durch eine inwendige Berührung wiederhergestellt werden. Dies muß vielmehr durch eine außerhalb des Glases angebrachte Verbindung zwischen dem Knopf und dem Boden der Glasche (der äußeren und der inneren Belegung) vermittels eines unelektrischen Körpers bewirkt werden. In diesem Falle wird das Gleichgewicht mit einer unaussprechlichen Heftigkeit auf einmal wiederhergestellt.

Die durch die Leydener Glasche bewirkte Erschütterung der Nerven wird durch den schleunigen Übergang der Elektrizität von dem Knopf durch den Leib nach dem Boden der Glasche bewirkt. Zur Erschütterung einer Person ist ihre Verbindung mit dem Boden des Zimmers nicht erforderlich. Es wird nämlich derjenige, der die Glasche in einer Hand hält und mit der anderen den Knopf berührt, ebenso stark erschüttert, wenn er auf einem isolierenden Pechfuchen steht.

Setzt man die elektrisierte Glasche auf Pech und nähert man darauf ein an einem seidenen Faden hängendes Korkfögelchen dem Knopfe, so wird es zuerst angezogen, darauf aber abgestoßen. Bringt man darauf das Kugelfchen an den Boden der Glasche (die äußere Belegung), so wird es sehr stark angezogen²⁾).

Franklin hat sich auf dem Gebiete der Elektrizitätslehre vor allem dadurch einen Namen erworben, daß er vermittels seines Drachens die elektrische Natur des Gewitters nachwies und den Blitzableiter erfand. Er berichtet hierüber in den folgenden Stellen seiner Briefe. Am 19. Oktober 1752 schreibt Franklin:

„Man mache aus zwei leichten Stücken von Zedernholz ein Kreuz, dessen Arme so lang sein müssen, daß sie in die vier Ecken eines großen, aber dünnen seidenen Schnupf-

¹⁾ Die Körper sind nach Franklin positiv oder negativ elektrisch, je nachdem sie ein Zuviel oder ein Minder von einem hypothetischen elektrischen Fluidum enthalten. Sie sind unelektrisch, wenn sich dieses Fluidum außerhalb und innerhalb des Körpers im Gleichgewicht befindet.

²⁾ Dies beweist, daß der äußere und der innere Beleg entgegengesetzt elektrisch sind.

tuches, wenn daselbe ausgespannt ist, reichen. Man knüpfe die Ecken des Schnupftuches an die Spitzen des Kreuzes, so daß man den Körper eines Drachens hat. Versieht man diesen gehörig mit einem Schwanze, Band und Schnur, so wird er, wie die aus Papier verfertigten, in die Luft hinaufsteigen; weil er aber von Seide gemacht ist, wird er geeigneter sein, den Wind und die Nässe der Gewitter, ohne zu zerreißen, auszuhalten. An die Spitze des aufwärts stehenden Stabes in dem Kreuze muß man eine sehr scharfe Spitze von Draht befestigen, welche einen Fuß und mehr über das Holz hervorragt. An das Ende des Bindfadens, zunächst der Hand, knüpft man ein seidenes Band und an die Stelle, wo Schnur und Seide zusammenkommen, kann man einen Schlüssel befestigen. Diesen Drachen läßt man steigen, wenn es das Ansehen hat, als wolle ein Gewitter entstehen. Der Mensch, welcher die Schnur hält, muß in einer Thür, einem Fenster oder einer sonstigen Bedeckung stehen, damit das seidene Band nicht naß werden kann. Auch muß hierbei beachtet werden, daß die Schnur den Thür- oder Fensterrahmen nicht berühre. Sobald nun Gewitterwolken über dem Drachen sind, zieht die Spitze das elektrische Feuer aus den Wolken an, und hierdurch wird der Drache und die ganze Schnur elektrifiziert. Die lose hängenden Fädchen der Schnur stehen nach allen Seiten auseinander und werden von einem sich nähernden Finger angezogen. Sobald der Regen den Drachen und die Schnur naßgemacht hat, so daß sie das elektrische Feuer besser leiten können, wird man finden, daß letzteres bei Annäherung eines Knöchels aus dem Schlüssel hervorströmt. An diesem Schlüssel können die Gläser geladen werden, und mit dem auf diese Weise erhaltenen elektrischen Feuer kann man Weingeist entzünden und alle übrigen elektrischen Versuche, die man sonst gewöhnlich mit Hilfe einer geriebenen Glaskugel oder Röhre zuwege bringt, anstellen, wodurch also die Übereinstimmung der elektrischen und der Materie des Blitzes vollkommen bewiesen ist."

Die Vermutung, daß das Gewitter ein elektrischer Vorgang sei, begegnet uns, sobald man aus geriebenen Körpern deutlich wahrnehmbare Funken hervorzulocken vermochte. So gelang es dem

Engländer Wall, wie er im Jahre 1698 schildert, durch Reiben eines großen Bernsteinstückes mit Wolle einen Funken von fast einem Zoll Länge hervorzurufen. Dabei trat ein Knall auf, als ob Steinkohle im Ofen zerspränge. Wall bemerkt dazu, dieses Licht und Knistern scheine einigermaßen Bliß und Donner vorzustellen.

Franklin sprach sich zuerst in einem Briefe vom 7. November 1749 für die elektrische Natur des Gewitters aus. Für die Übereinstimmung des Blißes mit dem elektrischen Funken führte er folgende Gründe und Beweise an: 1. Die Ähnlichkeit des Lichtes, sowie des Geräusches und das fast Augenblickliche beider Erscheinungen. 2. Der Funke wie der Bliß sind imstande, Körper zu entzünden. 3. Beide vermögen lebende Wesen zu töten (Franklin tötete ein Huhn durch die Entladung mehrerer Leydener Flaschen). 4. Beide rufen mechanische Zerstörungen hervor und erzeugen einen Geruch nach verbranntem Schwefel. 5. Der Bliß und die Elektrizität folgen denselben Leitern und springen vorzugsweise auf die Spitzen über. 6. Beide sind imstande, den Magnetismus zu zerstören oder auch die Pole eines Magneten umzukehren. 7. Durch den Funken können ebenso wie durch den Bliß Metalle zum Schmelzen gebracht werden.

Auf die Einrichtung von Blißableitern ist Franklin besonders durch seine Versuche über die Spitzenwirkung gekommen, die er zuerst zu erklären suchte. Dies geschah in seinem Briefe vom 29. Juli 1749. Franklin führte darin folgendes aus: Befinde sich die Elektrizität auf der Oberfläche einer Kugel, so habe kein Theilchen des elektrischen Fluidums mehr Neigung wie ein anderes, die Oberfläche zu verlassen, weil die Anziehung der Materie auf das elektrische Fluidum in diesem Falle überall gleich groß sei. Setze man an Stelle der Kugel einen Würfel, so werde die Elektrizität auf den Flächen mehr angezogen als an den Ecken. Die Theilchen der Elektrizität würden daher infolge der zwischen ihnen wirkenden Abstoßung nach den Ecken strömen. Je feiner die Spitze, desto mehr müsse diese Abstoßung, weil sich die Anziehung der Materie an der Spitze vermindere, zur Geltung kommen und die Elektrizität dorthin strömen.

Franklins Vorschlag, Gebäude durch Blißableiter zu schützen, erfolgte im September des Jahres 1753. Seine Ansichten über die Natur des Gewitters und die Wirkung des Blißableiters entwickelt er in folgenden Worten:

„Die über die Elektrizität angestellten Versuche führten die Forscher sehr bald auf die Vermutung, daß die Gewittermaterie und das elektrische Fluidum dasselbe seien. Die Versuche, welche darauf mit der durch spitze Stäbe aus den

Wolken gezogenen und in Flaschen gesammelten Gewittermaterie angestellt wurden, haben den Beweis geliefert, daß diese Vermutung vollkommen begründet ist, und daß alle Eigenschaften, die man der Elektrizität zuschreiben muß, ebenso viele Eigenschaften des Gewitters sind.

Die Gewitter- oder elektrische Materie ist eine äußerst feine Flüssigkeit, welche die anderen Körper durchdringt und sich in ihnen gleichmäßig verteilt aufhält.

Wenn es sich infolge eines künstlich herbeigeführten oder eines natürlichen Vorganges ereignet, daß diese Flüssigkeit in dem einen Körper in größerer Menge vorhanden ist als in einem anderen, so teilt der Körper, der mehr davon enthält, sie demjenigen mit, der weniger besitzt, bis die Verteilung eine gleichmäßige geworden ist, vorausgesetzt, daß der Abstand zwischen ihnen nicht zu groß ist. Oder gesetzt, er wäre zu groß, wenn nur Leiter vorhanden sind, welche diese Materie von dem einen zum anderen Körper zu führen vermögen ¹⁾.

Erfolgt die Mitteilung durch die Luft, ohne Vermittlung eines Leiters, so sieht man eine glänzende Lichterscheinung zwischen den Körpern und vernimmt dabei ein Geräusch. Bei unseren kleineren Versuchen nennen wir dieses Licht einen elektrischen Funken und das Geräusch Knistern. Bei den großartigen, in der Natur stattfindenden Entladungen ist dieses Licht dasjenige, was wir Blitz nennen, und das Geräusch und sein Widerhall ist der Donner.

Wenn der Ausgleich durch einen Leiter stattfindet, so kann dieser Ausgleich ohne Licht und ohne Geräusch vor sich gehen.

Ist der Leiter gut und von hinreichender Größe, so geht die Elektrizität durch ihn hindurch, ohne ihn zu beschädigen; wo nicht, so beschädigt sie ihn oder zerstört ihn gar.

Alle Metalle und das Wasser sind gute Leiter. Andere Körper, wie Holz und die übrigen zu Bauten gebrauchten

¹⁾ Franklin nahm also nur ein einziges elektrisches Fluidum an. Franklins unitarische Theorie wurde durch die Theorie Symmers verdrängt, nach der es zwei elektrische Fluida gibt, die als positive und negative Elektrizität unterschieden werden. Diese dualistische Theorie wird noch heute einer elementaren Erklärung der elektrischen Erscheinungen zugrunde gelegt.

Stoffe, vermögen, falls sie eine gewisse Menge Wasser enthalten, die Elektrizität fortzuleiten. Enthalten sie aber nicht viel Wasser, so sind sie keine guten Leiter und werden daher oft bei einer Entladung beschädigt. Glas, Wachs, Seide, Wolle und Haare sind Nichtleiter. Wenn zwei Leiter zur Verfügung stehen, von denen der eine ein guter, der andere aber weniger gut ist, so geht die Elektrizität in den besseren und folgt ihm in jeder Richtung.

Die Entfernung, in der ein mit Elektrizität geladener Körper sich plötzlich entladet, indem sie durch die Luft auf einen anderen Körper überspringt, ist verschieden groß, je nach der Menge der Elektrizität, der Größe und Gestalt der Körper, sowie der Beschaffenheit der dazwischen befindlichen Luft. Dieser Abstand wird die Schlagweite genannt. Erst wenn die Körper sich innerhalb der Schlagweite befinden, tritt Entladung ein.

Die Wolken enthalten oft mehr Elektrizität als die Erde. In diesem Falle verläßt jenes Fluidum die Wolken und schlägt in die Erde, sobald die Wolken der Erde nahe genug, d. h. in die Schlagweite kommen, oder sobald sie einen Leiter antreffen.

Große Bäume und hohe Gebäude werden zuweilen zu Leitern zwischen den Wolken und der Erde; aber sie werden oft dabei beschädigt, weil sie keine guten Leiter sind, d. h. weil sie die Elektrizität nicht ungehindert durchlassen.

Gebäude, die mit Blei oder anderem Metall bedeckte Dächer und metallene Traufen haben, die bis in die Erde reichen, werden nie vom Blitze beschädigt, weil er jedesmal, wenn er ein derartiges Gebäude trifft, in die Metalle und nicht in die Mauern schlägt.

Wenn andere Gebäude sich in der Schlagweite solcher Wolken befinden, so fährt die Elektrizität in die Mauern und verläßt sie nicht eher, bis sie bessere Leiter in der Nähe erreicht, wie metallene Stäbe, Riegel, Fenster- und Thürangeln, vergoldetes Tafelwerk oder Bilderrahmen, Quecksilber hinter den Spiegeln, Glockenzüge oder lebende Wesen. Letztere sind leitend, weil sie wässrige Flüssigkeiten enthalten. Bei ihrem Wege durch das Haus folgt die Elektrizität der Richtung dieser Leiter und benützt alle diejenigen, welche

ihr den Durchgang, sei es in gerader oder krummer Linie, erleichtern. Sie springt, wenn der Abstand nicht zu groß ist, von dem einen auf den anderen über und beschädigt das Gemäuer nur dort, wo die guten Leiter zu weit voneinander entfernt sind. Wird außerhalb des Gebäudes ein eiserner Stab angebracht, der ununterbrochen von dem höchsten Teile bis in das feuchte Erdreich fortgeht, so nimmt dieser Stab den Blitz an seinem oberen Ende auf und bietet ihm eine gute Leitung bis in die Erde. Auf solche Weise wird die Beschädigung irgendeines Teiles des Gebäudes verhindert. Man hat gefunden, daß eine geringe Menge Metall imstande ist, eine große Menge Elektrizität fortzuleiten. Ein eiserner Draht, der nicht stärker als eine Gänsefeder war, vermochte eine Elektrizitätsmenge fortzuführen, die an seinen beiden Enden eine schreckliche Zerstörung anrichtete.

Der Stab muß an der Mauer, dem Schornstein usw. mit eisernen Klammern befestigt werden. Der Blitz wird den Stab, der ein guter Leiter ist, nicht verlassen, um durch diese Klammern in die Mauer zu fahren, die ja die Elektrizität schlecht leitet.

Wenn das Gebäude sehr groß ist, so kann man der größeren Sicherheit wegen zwei oder mehr Stäbe an verschiedenen Stellen errichten.

Das untere Ende des Stabes muß so tief in den Boden geführt werden, daß es eine feuchte Stelle erreicht. Wenn man den Stab dann biegt, um ihn horizontal 6—8 Fuß von der Mauer fortlaufen zu lassen, und ihn dann wieder 3—4 Fuß abwärts gehen läßt, so schützt er alle Steine vor Beschädigung.“

III. Äpinus über die Influenz und die Pyroelektrizität.

Eine Anzahl der von Franklin und anderen Forschern entdeckten Erscheinungen suchte der Deutsche Äpinus aus dem von ihm aufgestellten Begriff der Influenz herzuleiten. Äpinus entdeckte auch, daß gewisse Körper durch bloßes Erwärmen in den elektrischen Zustand versetzt werden können. Man hat die durch Erwärmen hervorgerufene Elektrizität als Pyroelektrizität bezeichnet. Am besten werden wir in diese Gegenstände durch eine Abhandlung eingeführt, die Äpinus im Jahre 1760 veröffentlichte, und der die nachstehenden Ausführungen entnommen sind:

„Daß das Weltgebäude einen unendlich weisen Urheber hat, schließen wir vornehmlich daraus, daß die Natur durch wenige und einfache Mittel unendliche und sehr zusammengesetzte Endzwecke erreicht. Wer würde wohl, wenn er in der Naturlehre unwissend ist, glauben, daß ein Knabe, der mit einem Stück Bernstein Spreu anzieht, zugleich Donner und Blitz in seinen Händen hat. Halten es doch seit einiger Zeit die Forscher für ausgemacht, es sei ein und dieselbe Kraft, wodurch die Natur es zuwege bringt, daß ein Stück Bernstein die Kinder ergötzt und eine von Donner und Blitz starrende Wolke einen Helden in Schrecken versetzt.

Unter denjenigen, welchen diese Gewohnheit der Natur bekannt ist, hat es Leute gegeben, denen beifiel, vielleicht kämen die magnetische und die elektrische Kraft von einerlei oder doch ähnlichen Ursachen her. Es ist schon einige Jahre her, daß ich auf gleiche Gedanken geraten bin und den Weg zu diesen Geheimnissen der Natur gesucht habe.

Wir haben dem Naturforscher Dufay die Erkenntnis zu danken, daß es eine doppelte Elektrizität gibt. Es war diese Einsicht wie gewöhnlich anfangs mangelhaft und unzureichend, indem dieser Mann dafür hielt, die eine Art der Elektrizität sei dem Glase, die andere harzigen Körpern eigen, weil er jene zuerst nur am Glase, diese nur an harzigen

Dingen wahrgenommen hatte. Jetzt wissen wir, daß keine der beiden Arten von Elektrizität der einen oder der anderen Art von Körpern wesentlich oder eigen ist, sondern daß das Glas der harzigen Elektrizität und die Harze der Glaselektrizität fähig sind, ja daß es keinen Körper gibt, dem nicht beide Arten der Elektrizität mitgeteilt werden können. Nach der Entdeckung dieses Irrtums hatte man neue Namen nötig, damit nicht der Irrtum des Entdeckers zugleich mit den irrigen Bezeichnungen auf die Nachkommen gebracht würde. Die Naturforscher haben daher die früheren Benennungen fallen lassen und die Elektrizität in eine positive und eine negative eingeteilt, weil sie sahen, daß Körper, welche mit dieser oder jener Art der Elektrizität begabt sind, entgegengesetzte Wirkungen hervorbringen. Obgleich nämlich die positiv und negativ elektrischen Körper darin völlig übereinstimmen, daß sie die mit Elektrizität nicht versehenen Körper an sich ziehen, so sind sie doch in Ansehung der Wirkung gegen andere, gleichfalls elektrische Körper ganz und gar voneinander verschieden. Der positiv elektrische stößt diejenigen von sich, welche der negativ elektrische an sich zieht; der letztere dagegen stößt diejenigen ab, welche der erstere anzieht.

Was kann nun wohl Ähnlicheres gedacht werden, als die Gesetze der magnetischen Kraft und die erwähnten Gesetze. Daß es eine doppelte Art der magnetischen Kraft gibt, wie bezüglich der Elektrizität, ist bekannt. Sowohl der nördliche wie der südliche Pol des Magneten ziehen ein nicht magnetisches Stück Eisen gleichmäßig an. Dagegen zieht der nördliche Pol diejenige Seite eines anderen Magneten an sich, welche der südliche von sich stößt, und wiederum zieht der südliche Pol die Seite an, welche der nördliche abstößt. Es folgt somit der Magnet denselben Gesetzen, an welche die elektrischen Körper gebunden sind.

Es ist bisher kein Magnet gefunden worden, der nur von einer einzigen Art der beiden erwähnten Magnetkräfte durchdrungen gewesen wäre; vielmehr ist bekannt, daß jeder Magnet beide Arten zugleich äußert. Während wir auf der einen Seite des magnetischen Körpers die magnetische Kraft, die man nördlich nennt, antreffen, finden wir auf der anderen Seite zwar auch eine magnetische Kraft, aber

diese ist immer südlich und derjenigen entgegengesetzt, die auf der anderen Seite herrscht. Die elektrisierten Körper sind dagegen entweder ganz positiv oder ganz negativ elektrisch; doch meine man nicht, daß sich die Ähnlichkeit mit den magnetischen hier gar nicht zeigen ließe.

Es bietet sich mir hier zuerst jener wunderbare ceylonische Stein, der mich auf diese Untersuchung geführt hat. Er heißt Turmalin; die Juweliere nennen ihn auch Aschenzieher. Er ist durchsichtig und hält ein starkes Feuer ohne Schaden aus. Mit Hilfe vieler Versuche habe ich an diesem Steine eine doppelte Elektrizität entdeckt, davon die erstere auf die gewöhnliche Art durch Reiben, die andere aber durch einen gewissen Grad der Wärme, die man dem Steine beibringt, erweckt wird.

Diejenige Elektrizität, welche der Stein durch Reiben bekommt, ist von der Elektrizität der glasartigen Körper gar nicht zu unterscheiden. Viel wunderbarer ist die Elektrizität, welche dem Steine durch die Wärme mitgeteilt wird. Nachdem er nämlich eine Wärme, welche diejenige des Blutes um ein Geringes übertrifft, erhalten hat, wird er elektrisch, und zwar im Verhältnis zu seiner Größe sehr lebhaft. Es zeigt sich aber alsdann eine große Ähnlichkeit mit dem Magneten, weshalb ich auch des Steines hier Erwähnung getan habe. Es ist nämlich beständig die eine Seite des erwärmten Aschenziehers positiv, die andere aber negativ elektrisch. Er hat also, wie der Magnet eine doppelte Magnetkraft besitzt, beide Arten der Elektrizität zugleich ¹⁾.

Doch ist dies nicht das einzige Beispiel. Nach Franklin wissen wir, daß eine Leydener Flasche, wenn sie auf die gewöhnliche Art mit Elektrizität geladen ist, auf ihrer inneren Fläche sowohl als auf ihrer äußeren Elektrizität zeigt, doch so, daß diese Elektrizitäten einander entgegengesetzt sind.

Es ist bekannt, daß der Magnet seine Kraft auch anderen, aus Eisen bestehenden Körpern mitteilt, sowie daß

¹⁾ Diese durch Erwärmung erregte Elektrizität, die an gewissen Kristallen auftritt, hat man als Pyroelektrizität bezeichnet. Bei der Abkühlung kehren sich die beiden Pole um; ist dagegen die Temperatur bleibend geworden, so ist der Kristall wieder unelektrisch.

dies ohne allen Verlust geschieht. Damit ich die Sache deutlicher mache, will ich annehmen, es werde ein Eisenstab an irgendeinen Pol des Magneten gebracht, doch so, daß er ihn nicht berührt. Dieser Stab erhält sogleich einige, allmählich aber eine ziemlich beträchtlich werdende Magnetkraft, wobei es zugleich scheint, als ob der Magnet gleichsam mit fremdem Gut verschwenderisch wäre und das, was er selbst nicht hat, verschenkt. Dasjenige Ende des Stabes, das dem Pole des Magneten am nächsten ist, bekommt nämlich immer den Magnetismus, welcher dem des Pols, gegen den es gefehrt ist, entgegengesetzt ist. Das andere Ende des Stabes dagegen erhält den Magnetismus, den der besagte Pol besitzt ¹⁾.

Jetzt wollen wir sehen, was für Wirkungen die Elektrizität unter ähnlichen Umständen hervorzubringen pflegt. Man denke sich einen Metallstab, der auf gläsernen Unterlagen liegt. An das eine Ende bringe man einen elektrisierten Körper heran, doch so, daß der Stab von diesem nicht berührt wird, sondern in einiger Entfernung davon bleibt. Es ist aus unstreitigen Erfahrungen gewiß, daß alsdann der elektrisierte Körper die Elektrizität in dem benachbarten Stabe ebenso erweckt, wie der Magnet seine Kraft dem Eisen gibt, und daß dabei eben dieselbe Regel stattfindet, nach welcher der Magnet wirkt. Dasjenige Ende des Metallstabes nämlich, das dem elektrischen Körper am nächsten ist, bekommt die entgegengesetzte, das entferntere Ende erhält dagegen dieselbe Elektrizität, welche der Körper hat, mit dem man den Versuch macht ²⁾. Bringt man also an den Metallstab eine gläserne Röhre heran, welche durch Reiben positiv elektrisch ist, so wird das Ende des Stabes, das gegen die Röhre gewendet ist, negativ, das andere Ende aber positiv elektrisch. Das Gegenteil aber ergibt sich, wenn man anstatt der gläsernen Röhre einen Stab von Schwefel heranbringt, denn dieser bekommt durch Reiben negative Elektrizität. Überdies ist die Ähnlichkeit der Erscheinungen so groß, daß hier eben das geschieht, was die Naturkundigen an dem Magneten so sehr be-

¹⁾ Magnetische Influenz.

²⁾ Diese Erscheinung nennt man elektrische Influenz.

wundert haben. Denn sowohl die Versuche als die aus der Theorie gezogenen Schlüsse beweisen, daß ein Körper durch eine solche Mitteilung von Elektrizität keinen Abgang seiner Kräfte erleidet.

Bei einer geringen Abänderung der Versuche wird jedoch eine große Verschiedenheit der Erscheinungen wahrgenommen. Man bringe nämlich sowohl einen eisernen Stab dem Pole eines Magneten als auch einen metallenen, auf gläserner Unterlage befindlichen Stab einem elektrisierten Körper so nahe, daß in beiden Fällen eine unmittelbare Berührung stattfindet. Man wird alsdann zwar bei dem Magneten noch das vorige Gesetz bemerken, denn das den Pol berührende Ende des eisernen Stabes wird immer den entgegengesetzten Magnetismus bekommen. Der zu elektrisierende Stab wird indes seiner ganzen Länge nach nur diejenige Art von Elektrizität erhalten, welche derjenige Körper besitzt, mit dem er berührt wurde.

So wundersam auch die bisher betrachteten Eigenschaften des Magneten sind, so ist doch noch eine hervorragende übrig. Es ist jene bekannte Eigenschaft, welche dem Seefahrer den Weg durch das unermessliche Weltmeer zeigt, indem das eine Ende einer frei beweglichen Magnetnadel sich allezeit nach Norden, das andere nach Süden richtet.

Zur Erklärung dieser Erscheinung denke man sich eine Magnetnadel, die nach allen Seiten frei beweglich ist und sich in der Nähe eines anderen großen, unbeweglichen Magneten befindet. Da die gleichnamigen Pole einander abstoßen, die ungleichmäßigen dagegen sich gegenseitig anziehen, so wird eine Magnetnadel, wenn sie in den Wirbel des großen Magneten kommt, sich bestreben, eine solche Lage zu erhalten, bei welcher die anziehenden und abstoßenden Kräfte, die auf die Nadel wirken, im Gleichgewichte sind. Es ist aber aus den Beobachtungen der Seefahrer gewiß, daß die Magnetnadel, wenn sie in verschiedene Gegenden der Erdoberfläche kommt, bald diese, bald eine andere Lage hat, und daß der Wechsel dieser Lagen demjenigen völlig ähnlich ist, den die Nadel erfährt, wenn sie um einen Magneten herumgeführt wird. Hieraus schließen die Naturforscher, daß der Erdball selbst mit magnetischer Kraft versehen ist und

für einen großen, wenn auch schwachen Magneten zu halten sei. Man sieht also, daß die Erscheinung der richtenden Kraft des Magneten nur von untergeordneter Art ist und gänzlich von der anziehenden und abstoßenden Kraft abhängt.

Wenn wir daher einen Vergleich der Elektrizität mit dem Magnetismus bezüglich der richtenden Kraft anstellen wollen, so müssen wir annehmen, daß ein Körper, der an einem Ende positiv, am anderen negativ elektrisch ist, um einen gewissen Punkt eine freie Bewegung habe und einem anderen, unbeweglichen, gleichfalls mit elektrischen Polen versehenen Körper nahe komme. Es ist klar, daß die Veränderungen in der Lage des beweglichen Körpers mit denen, welche man bei der Magnetnadel bemerkt, völlig übereinstimmen müssen. Denn die Gesetze, an welche die elektrische Anziehung und Abstoßung gebunden ist, sind denen, welche bei dem Magneten statthaben, höchst ähnlich; ähnliche Ursachen müssen aber ähnliche Erscheinungen hervorbringen.

Man hat einige Male bemerkt, daß der Blitz, wenn er in ein Schiff einschlug und die Magnetnadel oder den Seekompaß traf, diesen sehr in Unordnung brachte, ja zuweilen die Pole der Nadel ganz umkehrte. Dadurch wurde Franklin veranlaßt, den Schlag der Leydener Glasche durch einen eisernen Draht gehen zu lassen. Franklin fand, daß der Draht sehr magnetisch geworden war. Man kann hieraus auf eine Verknüpfung der Elektrizität und des Magnetismus schließen und nicht nur eine Ähnlichkeit, sondern eine verborgene Gleichheit beider Kräfte mutmaßen.“

* * *

Neben der Reibungs-, der atmosphärischen und der Pyroelektrizität lernte das 18. Jahrhundert auch die durch physiologische Vorgänge hervorgerufene Elektrizität genauer kennen. Um die Mitte des Jahrhunderts tauchte nämlich die Vermutung auf, daß man es in der schon von Plinius ¹⁾ erwähnten rätselhaften Wirkung des Zitterrochen mit einem elektrischen Vorgang zu tun habe. Seitdem war man auch mit dem Zitteraal (*Gymnotus electricus*) Südamerikas bekannt geworden. Die Identität jener physiologischen

¹⁾ Siehe S. 6 dieses Quellenbuches.

und der durch Reibung erzeugten Erscheinungen wurde einmal dadurch nachgewiesen, daß man den Impuls durch eine Kette von Personen leitete, von denen die erste und die letzte den Fißch berührten. Alle empfingen dann genau den gleichen Erschütterungsschlag, wie ihn die Leydener Glasche erteilt. Der zweite Nachweis geschah dadurch, daß man die Entladung des Fißches durch einen metallischen Leiter vor sich gehen ließ, der an einer Stelle unterbrochen war. An dieser Stelle sah man bei jedem Schlag, den der Fißch erteilte, einen Funken überspringen.

IV. Chemische Wirkungen der Reibungselektrizität.

Auch mit der chemischen Wirkung der Elektrizität wurde man schon lange vor der Erfindung der galvanischen Elemente bekannt. Man bemerkte, daß sich mit Hilfe des Entladungsschlages aus Metalloxyden die betreffenden Metalle herstellen lassen. Auf diesem Wege erhielt man z. B. aus Zinkoxyd (Zinkweiß) Zink. Von epochemachender Bedeutung war die Zerlegung des Wassers mit Hilfe des Entladungsschlages. Als der holländische Chemiker van Troostwyk diesen Schlag wiederholt durch destilliertes Wasser gehen ließ, fand er, daß das Wasser in brennbare Luft (Wasserstoff) und Lebensluft (Sauerstoff) zerfällt. Ließ er den elektrischen Funken durch das entstandene Gasgemisch schlagen, so verwandelte es sich wieder in Wasser. Van Troostwyk berichtet darüber mit folgenden Worten:

„Indem wir die Wirkung des elektrischen Schlages auf verschiedene Stoffe untersuchten, kamen wir auf den Gedanken, diese Wirkungen auch in bezug auf das Wasser zu prüfen. Zu diesem Ende füllten wir eine Röhre von $\frac{1}{8}$ Zoll Durchmesser und 12 Zoll Länge mit destilliertem Wasser. Ein Ende dieser Röhre war hermetisch geschlossen, doch war beim Zuschmelzen ein Golddraht eingeschlossen, der $1\frac{1}{2}$ Zoll lang in die Röhre hineinragte. In der Entfernung von $\frac{5}{8}$ Zoll vom Ende dieses Drahtes befand sich in der Röhre ein anderer Draht, der zum offenen Ende heraustrat und ebenso wie dieses Ende sich in einem kleinen, mit destilliertem Wasser gefüllten Glasgefäß befand. Um den elektrischen Schlag von einem Draht zum anderen und demgemäß durch das zwischen beiden in der Röhre befindliche Wasser gehen zu lassen, stellten wir die Röhre mit ihrem geschlossenen Ende gegen eine isolierte Kugel von Kupfer in einiger Entfernung vom ersten Konduktor unserer Maschine auf und verbanden das Ende des Drahtes, der sich in dem mit Wasser gefüllten Gefäß befand, mittels

eines anderen Leiters mit der äußeren Belegung einer Leydener Glasche, deren Knopf mit dem ersten Konduktor in Verbindung gesetzt war.

Als wir in dieser Weise die Wirkungen des elektrischen Schläges auf Wasser untersuchten und die kupferne Kugel nur in geringe Entfernung von dem ersten Konduktor gesetzt hatten, bemerkten wir anfänglich gar keine Entwicklung von Gas. Dadurch, daß wir diese Entfernung und damit die Stärke des Schläges vermehrten, so daß bei jedem Schlage an den Enden der Drähte ein Funke erschien, bildeten sich im Wasser bei jedem Schlage eine Menge sehr feiner Luftblasen, die wie ein beständiger Strom zwischen beiden Enden erschienen. Diese Bildung von Gas wurde beträchtlicher, und gleichzeitig wurden die Bläschen viel größer, als wir die Entfernung zwischen der Kupferkugel und dem Konduktor noch vermehrten, so daß man manchmal einen kleinen Strahl vom Ende des oberen Drahtes in das Wasser schießen sah. Die auf diese Weise erhaltene Luft begab sich an das obere Ende der Röhre, sammelte sich daselbst und bildete dort eine Luftsäule, welche sich in dem Maße vermehrte, als wir fortfuhren, die Schläge durch das Wasser zu senden, bis zu dem Punkte, daß die Luftsäule das Ende des oberen Drahtes erreicht hatte. In diesem Augenblicke entzündete plötzlich der elektrische Funke, der durch das Gas schlagen mußte, um vom Ende des Drahtes zum Wasser zu gelangen, das Gas genau wie brennbare Luft (Wasserstoffgas). Infolgedessen verschwand das Gas bis auf einen sehr geringen Rest. Nachdem wir diesen Rest hatten austreten lassen, leiteten wir von neuem die Schläge durch das Wasser; es fand eine neue Entwicklung von Gas statt, das nach Erreichung des Endes des oberen Drahtes sich ganz wie früher entzündete und bis auf eine geringe Menge verschwand. Wir wiederholten diesen Versuch mehrmals hintereinander und beobachteten jedesmal dieselben Erscheinungen, mit dem einzigen Unterschiede, daß der Gasrückstand nach jeder Entzündung geringer zu werden schien.

Vergleicht man diese Versuche, so erscheint es uns bewiesen, daß der elektrische Schlag keine andere Wirkung auf das Wasser hat, als die Grundlage der brennbaren Luft (Wasserstoffgas) zu veranlassen, Gasform anzunehmen.

Es blieb noch nachzuweisen übrig, ob die Lebensluft (Sauerstoff), deren Existenz sich durch die Explosion der brennbaren Luft zeigte, dem Wasser zuzuschreiben war oder einem Reste atmosphärischer Luft, welche im Wasser aufgelöst sein oder an den Röhren der Wände haften konnte."

Zu diesem Zwecke wiederholte van Troostwyk den beschriebenen Versuch viele Male. Der Rückstand, der sich anfangs gezeigt hatte, und der auf einen „im Wasser aufgelösten Rest atmosphärischer Luft“ hindeutete, wurde bei jedem Versuch geringer und verschwand endlich so gut wie ganz. Van Troostwyk hielt sich daher für berechtigt, auch den Sauerstoffgehalt des Gasgemenges aus dem Wasser herzuleiten. Voll bestätigt wurde diese Annahme, als es gelang, die bei der Zerlegung des Wassers auftretenden Gase getrennt aufzufangen. Hierbei bediente man sich der galvanischen Elektrizität, mit deren Entdeckung uns der nächste Abschnitt bekannt machen soll.

V. Die Entdeckung der galvanischen oder der Berührungselektrizität.

Daß die bloße Berührung zweier verschiedenartiger Metalle eine eigentümliche, später als elektrisch erkannte Wirkung hervorruft, beobachtete man zum erstenmal um die Mitte des 18. Jahrhunderts. Der Versuch läßt sich in folgender Weise leicht wiederholen. Eine durch Abscheuern mit Sand gut gereinigte Zinkplatte (A) und eine ebenso gereinigte Kupferplatte (B) werden auf einer Seite (C) in Berührung gebracht und so gehalten, daß man zwischen beide Platten die Zunge bringen kann. Geschieht dies, so nimmt man eine prickelnde, an den Geschmack von Eisenvitriol erinnernde Empfindung wahr, die Zink und Kupfer für sich nicht hervorzubringen vermögen. Es sei doch nicht wahrscheinlich, meinte der Entdecker dieses Verhaltens, der Deutsche Sulzer ¹⁾, daß bei der Berührung der beiden Metalle eine Auflösung stattfindet. Man müsse vielmehr annehmen, daß diese Berührung eine zitternde Bewegung der Teilchen verursache, welche die Geschmacksnerven erzeuge.

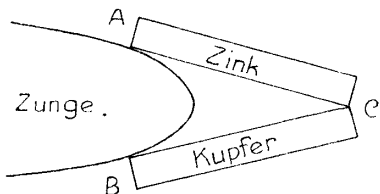


Abb. 3. Erster Nachweis der Berührungselektrizität.

Die Beobachtung Sulzers wurde wenig beachtet und fast vergessen, bis die weitere Entwicklung der Elektrizitätslehre ein Zurückgreifen auf jene Entdeckung erforderlich machte und die Erklärung dafür brachte. Dies geschah, nachdem der Italiener Galvani beobachtet hatte, daß ein Froschschenkel, der ähnlich wie die Zunge in dem soeben beschriebenen Versuch mit zwei verschiedenartigen Metallen in Berührung kommt, in lebhaftes Zucken gerät. Wir

¹⁾ Er lebte von 1720—1779 und war Professor der Mathematik an einem Berliner Gymnasium.

wollen Galvani ¹⁾ seine Entdeckung und die Versuche, die er an sie angeschlossen, selbst schildern lassen ²⁾:

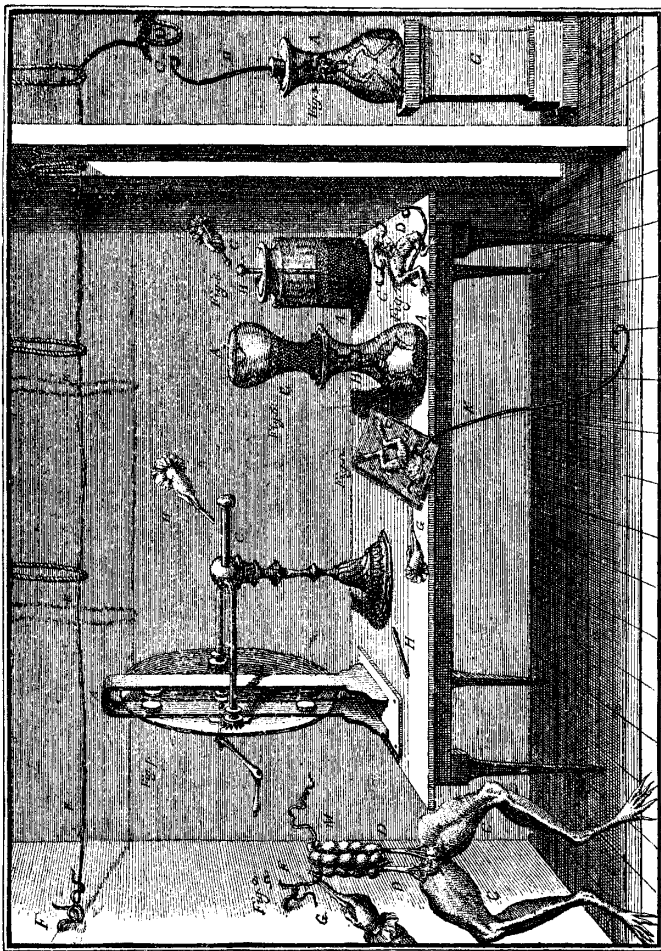


Abb. 4. Zustungen der Froschschenkel bei der Entladung der Elektrifiziermaschine. (Aus Galvani's Abhandlung über die Kräfte der Elektrizität.)

¹⁾ Aloisio Galvani (1737—1798) war Professor der Anatomie in Padua. Er heiratete die Tochter eines der dortigen Professoren. Nach legendenhaften Berichten soll sie einen hervorragenden Anteil

„Ich zerlegte einen Frosch, präparierte ihn, wie in Abb. 4, 2 dargestellt ist, und legte ihn auf einen Tisch, auf dem eine Elektrifiziermaschine stand (Abb. 4, 1). Als nun die eine von den Personen, die mir zur Hand gingen, mit der Spitze eines Messers die Schenkelnerven DD des Frosches zufällig ganz leicht berührte, zogen sich alle Muskeln an den Gelenken wiederholt derartig zusammen, als wären sie von heftigen Krämpfen befallen. Der andere aber, der mir bei Elektrizitätsversuchen behilflich war, glaubte bemerkt zu haben, daß sich dies ereignet hätte, während dem Konduktor der Maschine ein Funke entlodt wurde. Verwundert über diese neue Erscheinung machte er mich, der ich etwas gänzlich anderes vorhatte und in Gedanken versunken war, darauf aufmerksam. Hierauf wurde ich von einem unglaublichen Eifer entflammt, dasselbe zu erproben, und das, was darunter verborgen war, ans Licht zu ziehen. Ich berührte daher selbst mit der Messerspitze den einen oder den anderen Schenkelnerven, und gleichzeitig entlodte einer der Anwesenden dem Konduktor einen Funken. Die Erscheinung blieb stets die gleiche. Unfehlbar traten heftige Zuckungen in demselben Augenblicke ein, in dem der Funke übersprang.

Um zu erproben, ob diese Bewegungen von der Berührung mit der Messerspitze, die vielleicht einen Reiz bewirkte, oder von dem Funken herrührten, habe ich dieselben Nerven wieder auf die gleiche Weise mit der Messerspitze berührt, und zwar stärker, doch ohne daß während dieser Zeit jemand einen Funken hervorrief. Es wurden jedoch gar keine Bewegungen bemerkbar. Dadurch kam ich zu der Ansicht, es sei zum Hervorrufen der Erscheinung die Berührung und der elektrische Funken zusammen erforderlich.

Durch die Neuheit der Erscheinung angeregt, schickten wir uns an, die Sache experimentell zu verfolgen, doch unter Anwendung ein und desselben Messers, damit wir an der Entdeckung Galvanis haben. Galvani begann seine Versuche im Jahre 1780.

²⁾ Der nachstehende Abschnitt dieser epochemachenden Schilderung ist nach der Ausgabe von A. J. von Öttingen wiedergegeben (Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, Nr. 52. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann).

womöglich die Ursache der unerwarteten Verschiedenheit entdeckten. Diese neue Arbeit verlief nicht ergebnislos, denn wir bemerkten, daß die Erscheinung nur einem Teile des Messers, an dem man es mit den Singern hielt, zuzuschreiben war. Das Messer hatte nämlich einen beinernen Griff. Und wenn man diesen Griff mit der Hand umschloß, so traten beim Überspringen des Sunkens keine Zuckungen ein, wohl aber, wenn man die Singer an die Metallklinge oder an die die Klinge des Messers festhaltenden eisernen Nägel legte.

Da nun einigermaßen trockene Knochen die Elektrizität nicht leiten, wohl aber die Metallklinge und die eisernen Nägel, so kamen wir auf die Vermutung, daß, wenn man mit den Singern den beinernen Griff hielt, dem elektrischen Fluidum, das auf irgendeine Weise in dem Grosch tätig wird, jeder Zutritt verwehrt sei, daß er ihm aber gestattet würde, wenn man die Klinge oder die mit dieser in Verbindung stehenden Nägel anfaßt ¹⁾.

Um nun die Sache außer allen Zweifel zu stellen, haben wir uns anstatt des Messers bald eines dünnen Glasstäbchens, das von aller Feuchtigkeits und jedem Stäubchen befreit war, bald eines Eisenstäbchens bedient. Mit dem gläsernen Stabe berührten wir nicht nur die Schenkelnerven, sondern wir rieben sie tüchtig, während der Sunke hervorgelockt wurde, aber vergeblich! Trotz aller Mühe trat nie die Erscheinung ein, auch wenn zahllose stärkere Sunken dem Konduktor der Maschine, selbst in geringer Entfernung von dem Schenkel entzogen wurden. Sie trat aber wohl ein, wenn man mit dem Eisenstäbchen eben diese Nerven nur leicht berührte und selbst kleine Sunken überspringen ließ.

¹⁾ Galvani hatte es in dieser Erscheinung noch nicht mit einer Wirkung der Berührungselektrizität zu tun, sondern mit einem sogenannten „Rückschlag“. Dieser besteht darin, daß die infolge des Ladens der Maschine in dem Schenkel stattfindende elektrische Verteilung in dem Augenblicke des Entladens eine Änderung erfährt. Die Verteilung, sowie ihr Ausgleich wird dadurch gefördert, daß man den Schenkel mit der Erde in leitende Verbindung bringt, was Galvani durch die Berührung des Schenkels mit einem leitenden Gegenstand bewirkte.

Damit stand die Wahrheit unserer Vermutung als klar erwiesen fest, daß nämlich die Berührung eines leitenden Körpers mit den Nerven erforderlich ist, damit die Erscheinung eintritt.

Nun schien uns nichts wichtiger, als zu erörtern, ob die sogenannte atmosphärische Elektrizität dieselben Erscheinungen hervorrufen würde oder nicht, ob nämlich bei Anwendung derselben Kunstgriffe die Blitze auch Muskelzuckungen erregen würden.

Wir haben deshalb einen langen, passenden Konduktor, und zwar einen Eisendraht, an einem höher gelegenen Orte des Hauses ausgespannt und isoliert, und daran, als ein Gewitter am Himmel heraufgezogen war, präparierte Frösche oder präparierte Schenkel von Warmblütern mit ihren Nerven aufgehängt. Auch an ihre Füße haben wir einen Konduktor, nämlich einen anderen Eisendraht geheftet, und zwar einen sehr langen, den wir bis in das Wasser eines Brunnens tauchen ließen. Die Sache verlief ganz nach Erwarten wie bei der künstlichen Elektrizität. So oft nämlich Blitze hervorbrachen, gerieten sämtliche Muskeln in demselben Augenblick in wiederholte, heftige Zuckungen, so daß immer die Muskelbewegungen, wie der Schein der Blitze, den Donnererschlägen vorangingen und diese gleichsam ankündigten.

Da ich zuweilen bemerkt hatte, daß präparierte Frösche, die an einem Eisengitter mit Messinghaken aufgehängt waren, in die gewöhnlichen Zuckungen verfielen, und zwar nicht nur beim Blitzen, sondern auch bei heiterem Himmel, so meinte ich, die Entstehung dieser Zuckungen sei von Veränderungen, die mit der atmosphärischen Elektrizität vor sich gingen, herzuleiten. Deshalb beobachtete ich zu verschiedenen Stunden, und zwar viele Tage lang, dazu passend hergerichtete Schenkel, aber nur selten trat eine Bewegung in den Muskeln ein. Schließlich, durch das vergebliche Warten ermüdet, habe ich die Haken, die in dem Rückenmark befestigt waren, gegen das eiserne Gitter gedrückt, um zu sehen, ob durch einen solchen Kunstgriff die Zusammenziehung der Muskeln erregt würde. Dabei beobachtete ich ziemlich häufig Zuckungen. Es fehlte nicht viel, und ich hätte letztere der atmosphärischen Elektrizität

zugeschrieben. Als ich aber den Schenkel in das geschlossene Zimmer gebracht, auf eine Eisenplatte gelegt und angefangen hatte, gegen letztere den in dem Rückenmark befindlichen Haken zu drücken, bemerkte ich die gleichen Zuckungen ¹⁾. Dasselbe habe ich wiederholt unter Anwendung von anderen Metallen, an anderen Orten und zu anderen Stunden und Tagen erprobt und stets das gleiche Ergebnis gefunden, nur daß die Zuckungen infolge der Verschiedenheit der Metalle verschieden waren, bei den einen nämlich heftiger, bei den anderen langsamer. Schließlich kam es uns in den Sinn, auch andere Körper, die aber wenig oder gar keine Elektrizität leiten, wie Glas, Gummi, Harz, Stein oder Holz, und zwar trocken, zu dem Experiment zu verwenden; nichts Ähnliches trat ein, es ließen sich keine Muskelzuckungen erblicken. Natürlich erregte ein derartiges Ergebnis bei uns nicht geringe Verwunderung und ließ die Vermutung in uns aufsteigen, daß dem Tiere selbst Elektrizität innewohne.

Um aber die Sache besser klar zu legen, habe ich mit dem größten Erfolge den Grosch auf eine nicht leitende Platte aus Glas oder Harz gelegt und bald einen leitenden, bald einen ganz oder nur zum Teil nicht leitenden Bogen angewendet und mit dessen einem Ende den in dem Rückenmark befindlichen Haken und mit dem anderen entweder die Schenkelmuskeln oder die Füße berührt. Bei diesem Versuche sahen wir unter Anwendung des leitenden Bogens, Abb. 5, 9, Zuckungen eintreten, bei Anwendung des zum Teil nicht leitenden Bogens, wie in Abb. 5, 10, aber ausbleiben. Der leitende Bogen bestand aus einem Eisendraht, der Haken aus Messing.

Wenn der Grosch an einem Beine mit den Fingern gehalten wird, so daß der in dem Rückenmark befestigte Haken eine Silberplatte berührt, das andere Bein aber frei auf der Platte gleiten kann (Abb. 5, 11), so werden, sobald dies Bein die Platte berührt, die Muskeln zusammengezogen. Infolgedessen hebt sich das Bein. Bald aber erschlaffen die Muskeln von selbst, und das Bein sinkt auf

¹⁾ Hierin bestand die Entdeckung der Berührungselektrizität durch eine zweite physiologische Wirkung.

die Platte zurück und berührt sie von neuem. Es wird deshalb wieder hochgehoben und fährt so fort sich zu heben

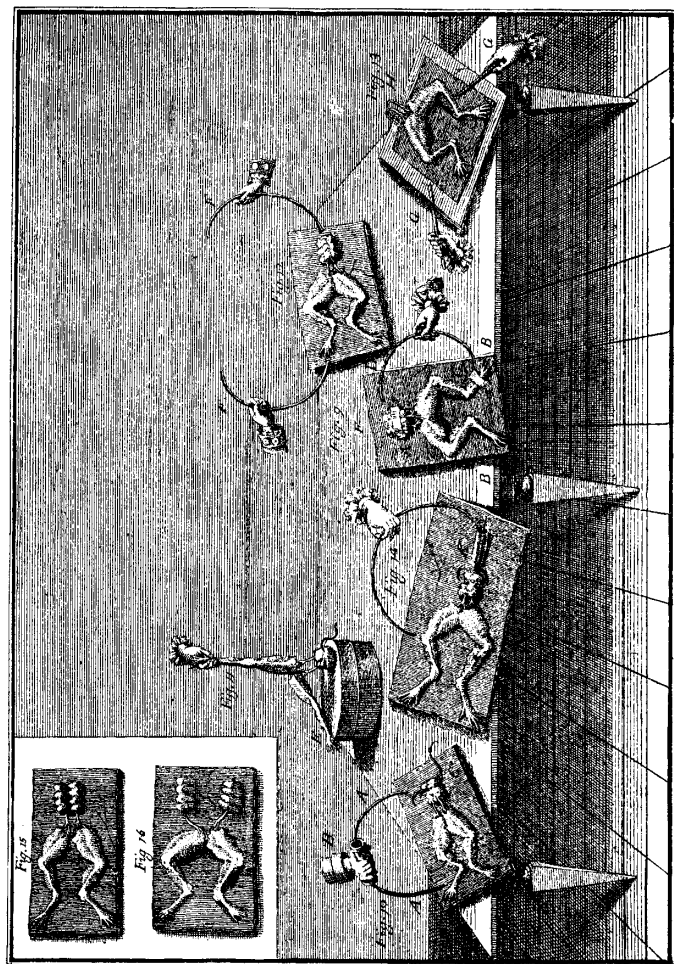


Abb. 5. Zustungen der Strolchschenkel bei der Berührung verschiedenartiger Metalle. (Aus Galvani's Abhandlung über die Kräfte der Elektrizität.)

und zu senken, so daß es einem elektrischen Pendel gleicht, zur größten Verwunderung und Freude des Beobachters.

Es ist natürlich nicht schwer einzusehen, wie bequem und leicht die Erscheinung mit der Silberplatte wiederholt werden kann. Sie dient gewissermaßen als Bogen, der den obenerwähnten Kreislauf ermöglicht, wenn das Bein auf diese Platte niederfällt, für diesen Kreislauf aber nicht mehr vorhanden ist, wenn das Bein sich von der Platte entfernt hat. Dies sind weder zweifelhafte noch dunkle Beweise dafür, daß die Metallplatte an Stelle des Bogens dient.

Man kann aber kaum sagen, worin die Kraft einer solchen Platte zur Erregung derartiger Muskelzuckungen besteht."

Galvani erklärte seine Versuche aus einer Art tierischer Elektrizität und fand damit zuerst allgemeinen Anklang. Volta (1745 bis 1827) dagegen schrieb die Elektrizitätserregung der Verschiedenheit der angewandten Metalle zu. Im Jahre 1800 wurde Volta durch seine Versuche auf die Erfindung der galvanischen Kette geführt. Näheres hierüber bringen die folgenden Abschnitte.

VI. Volta erfindet die galvanische Säule.

Galvanis wissenschaftliche Tätigkeit hatte mit dem Erscheinen seiner Schrift „Über die Kräfte der Elektrizität“ (1791) ihren Höhepunkt erreicht. Die Führung auf dem von ihm erschlossenen Gebiete übernahm jetzt Volta.

Alessandro Volta wurde am 18. Februar 1745 zu Como geboren; er war Professor der Physik in Padua und starb in Como am 5. März des Jahres 1827.

Anknüpfend an die Beobachtungen Galvanis zeigte Volta, daß auch ohne die Mitwirkung von Muskeln und Nerven Elektrizität durch bloße Berührung verschiedenartiger Metalle mit oder ohne Zuhilfenahme einer feuchten Zwischensubstanz erzeugt werden kann. Voltas Versuche führten ihn zur Erfindung der galvanischen Säulen und Batterien, über die er in nachfolgenden Zeilen berichtet¹⁾:

„Ich habe das Vergnügen, Ihnen einige staunenerregende Ergebnisse mitzuteilen, zu denen ich im Verfolg meiner Versuche gelangt bin. Diese Versuche beschäftigen sich mit derjenigen Art von Elektrizität, welche durch die bloße wechselseitige Berührung verschiedenartiger Metalle, ja selbst anderer Leiter erregt wird, die gleichfalls unter sich verschieden sein müssen und flüssig oder mit Flüssigkeit durchtränkt sein können, welchem Umstande sie dann eigentlich ihr Leitungsvermögen verdanken. Das Hauptergebnis meiner Versuche ist die Herstellung eines Apparates, der in Anbetracht der Erschütterungen, die er in den Gliedmaßen hervorzurufen vermag, an eine Leydener Flasche erinnert oder vielmehr an schwach geladene Batterien, die indessen ohne Unterbrechung wirken, oder deren Ladung sich nach jeder Entladung von selbst wiederherstellt; mit einem Worte, Batterien mit einer unzerstörbaren Ladung. Im übrigen weicht jener Apparat aber von einer Batterie wesentlich ab, und zwar nicht nur darin, daß er eine beständige Wirkung

¹⁾ Aus Voltas Brief an den Präsidenten der Royal Society in London. Das Schreiben war datiert vom 20. März 1800.

äußert. Während nämlich die elektrischen Glaschen und Batterien aus einer oder aus mehreren isolierenden Platten oder aus dünnen Schichten derartiger Stoffe bestehen, die allein als Sitz der Elektrizität gelten und mit Leitern oder sogenannten anelektrischen Stoffen belegt sind, besteht dieser neue Apparat einzig aus mehreren dieser letzteren Stoffe. Unter diesen werden sogar die besten Leiter ausgewählt, die nach dem, was man immer geglaubt hat, am wenigsten elektrischer Natur sind. In der That, der Apparat, von dem ich rede und der Sie ohne Zweifel in Erstaunen setzen wird, besteht nur in der Vereinigung einer Anzahl guter Leiter von verschiedener Art, die auf eine gewisse Weise angeordnet sind. 30, 40, 60 oder mehr Kupferstücke oder noch besser Stücke aus Silber, jedes in Verbindung mit einem Stück Zinn; ferner eine gleiche Anzahl Wasserschichten oder Schichten einer anderen Flüssigkeit, die besser leitet als das gewöhnliche Wasser, z. B. Salzwasser, Lauge oder dergleichen, oder auch Stücke aus Pappe oder Leder, wohlgetränkt mit diesen Flüssigkeiten; endlich derartige Schichten, eingeschaltet zwischen jedem Paar der beiden miteinander verbundenen, verschiedenartigen Metalle; eine solche Anordnung dieser drei Leiter stets in derselben Folge wiederholt: das ist alles, woraus mein neuer Apparat besteht. Er gleicht, wie ich schon sagte, in seinen Wirkungen den Leydener Glaschen oder elektrischen Batterien, da er dieselben Erschütterungen wie jene gibt, jedoch steht er weit hinter den genannten, stark geladenen Batterien zurück hinsichtlich der Kraft und des Geräusches der Entladungen und hinsichtlich des Funkens und der Schlagweite. Er gleicht in seinen Wirkungen einer nur sehr schwach geladenen Batterie, der aber eine außerordentliche Kapazität zukommt; andererseits übertrifft er derartige Batterien darin, daß es nicht nötig ist, ihn vorher wie jene mit fremder Elektrizität zu laden, sowie auch darin, daß er fähig ist, jedesmal, wenn man ihn passend berührt, einen Schlag zu geben, wie oft auch die Berührung stattfinden möge.

Diesen Apparat, der in der Art, wie ich ihn konstruiert habe, sowie in seiner Gestalt mehr Ähnlichkeit mit dem natürlichen elektrischen Organ des Zitterrohrs und

des Zitteraals besitzt als mit der Leydener Glasche und den bekannten elektrischen Batterien, möchte ich ein künstliches elektrisches Organ nennen. Und in der That besteht er nicht wie dieses einzig und allein aus leitenden Substanzen? Ist er nicht ferner wirksam aus sich selbst heraus, ohne vorherige Ladung? Ist er nicht endlich fähig, in jedem Augenblick, je nach den Umständen, mehr oder weniger starke Schläge zu geben, die sich bei jeder Berührung wiederholen?

Ich lasse jetzt eine ausführlichere Beschreibung dieses Apparates folgen. Ich verschaffte mir einige Duzend kleine runde Platten oder Scheiben aus Kupfer oder besser aus Silber, von etwa einem Zoll Durchmesser (beispielsweise Münzen), und eine ebenso große Zahl Zinn- oder weit besser Zinkplatten, von etwa derselben Form und Größe. Außerdem stelle ich eine genügende Anzahl Scheiben aus Pappe oder Leder oder einer anderen porösen Substanz her, die imstande ist, viel von der Flüssigkeit aufzusaugen und festzuhalten, mit der sie durchtränkt sein müssen, damit die Versuche gelingen. Diese durchweichten Platten mache ich ein wenig kleiner als die Metallplatten, damit sie nicht über diese hervorragen, nachdem sie auf eine Weise, die ich gleich beschreiben werde, zwischen die Metallplatten gelegt worden sind.

Habe ich alle diese Dinge in gutem Zustande zur Hand, das heißt die Metallplatten rein und trocken und die nichtmetallischen Scheiben mit Salzlösung wohldurchtränkt, so habe ich sie nur in passender Weise anzuordnen, und diese Anordnung ist einfach und leicht.

Ich lege nämlich horizontal auf einen Tisch oder auf irgendeine Unterlage eine der metallischen Platten, z. B. eine Silberplatte, und bedecke sie mit einer Platte von Zink; hierüber schichte ich eine der durchweichten Scheiben, dann eine zweite Silberplatte, auf diese folgt sofort eine andere von Zink, auf welche ich wiederum eine durchweichte Scheibe folgen lasse. So fahre ich in derselben Weise fort, indem ich eine Silberplatte stets in derselben Weise zu einer Zinkplatte füge, d. h. das Silber immer zu unterst und das Zink darüber oder umgekehrt, je nachdem ich begonnen habe. Indem ich ferner zwischen diese Plattenpaare feuchte

Scheiben einschalte, fahre ich fort, aus mehreren dieser Stodwerke eine Säule von solcher Höhe aufzubauen, daß sie sich halten kann, ohne umzufallen. Sobald die Säule etwa 20 solcher Stodwerke oder Metallpaare enthält, wird sie schon den Singern, mit denen man ihre Enden (den Kopf und den Fuß der Säule) berührt, einen oder mehrere kleine Erschütterungen zu erteilen vermögen, deren Zahl davon abhängt, wie oft man diese Berührung wiederholt. Jeder dieser Schläge gleicht vollkommen jener leichten Erschütterung, die eine schwach geladene Leydener Flasche oder ein aufs äußerste erschöpfter Zitterrochen zu erteilen vermögen.

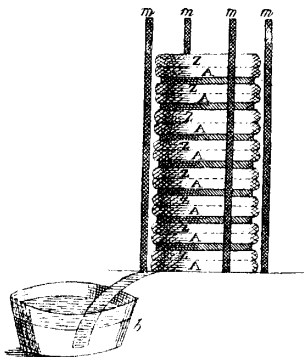


Abb. 6. Vollas Säule.

Um diese leichten Erschütterungen von dem Apparat zu empfangen, ist es erforderlich, daß die Singer, mit denen man seine beiden Enden zu gleicher Zeit berühren will, mit Wasser benetzt werden, damit die Haut, die sonst kein guter Leiter sein würde, angefeuchtet ist. Endlich, um ganz sicheren Erfolg zu haben und erheblich kräftigere Schläge zu erhalten, muß man vermittels eines genügend breiten Streifens oder eines dicken Drahtes aus Metall den

der Säule (s. Abb. 6) mit dem Wasser eines genügend Fuß großen Behälters in Verbindung setzen, in den man einen, zwei oder drei Singer oder die ganze Hand eintaucht, während man sich anschickt, den Kopf der Säule mit dem blank gepuhten Ende einer gleichfalls metallischen Platte zu berühren. Letztere packt man mit der anderen, gut angefeuchteten Hand an, so daß man eine große Fläche dieser Platte unter kräftigem Drucke berührt. Bei diesem Verfahren empfinde ich ein leises Prickeln oder einen leichten Schlag in den Gelenken des Singers, den ich in den Behälter tauche, wenn ich mit der anderen Hand das vierte oder auch nur das dritte Plattenpaar berühre. Berühre ich darauf das fünfte, das sechste und so nach und nach

die übrigen bis zur letzten Platte, welche den Kopf der Säule bildet, so wird man durch die Tatsache in Erstaunen gesetzt, daß die Erschütterungen schrittweise an Stärke zunehmen, und zwar in solchem Maße, daß ich von einer derartigen, aus 20 Plattenpaaren gebildeten Säule Schläge erhalte, die sich über den ganzen Finger erstrecken und sogar ein wenig schmerzen.

Mein Apparat ist mehrerer Abänderungen fähig. Ich will hier nicht alle beschreiben, die ich ausgedacht und ausgeführt habe, sondern nur einige, die eine wirkliche Verbesserung bedeuten, sei es, daß sie sich leichter ausführen lassen, sei es, daß sie weniger leicht versagen oder länger in gutem Zustande verbleiben.

Um mit einem dieser Apparate zu beginnen, der fast alle diese Vorzüge in sich vereinigt, indessen, was seine Form anlangt, am meisten von dem obenbeschriebenen



Abb. 7. Voltas Becherapparat.

Säulenapparat abweicht, führe ich diesen neuen Apparat in der nebenstehenden Abbildung vor. Man stellt nämlich eine Reihe von Bechern auf, die aus irgendeinem nichtmetallischen Stoff bestehen, sei es Holz, Ton oder noch besser aus Glas. Man füllt sie zur Hälfte mit Salzwasser oder Lauge. Dann setzt man sie sämtlich in Verbindung, so daß sie eine Art Kette bilden. Dies geschieht vermittels einer gleichen Zahl metallischer Bögen, deren Arm A a oder auch nur deren Ende A, das in einen der Becher taucht, aus Kupfer oder besser aus versilbertem Kupfer hergestellt ist, während das andere Ende Z, das in den folgenden Becher taucht, aus Zinn oder besser aus Zink besteht. Die beiden Metalle, aus welchen jeder Bogen verfertigt ist, sind an irgendeiner Stelle oberhalb des Teiles, der in die Flüssigkeit taucht, zusammengelötet. Mit der letzteren muß eine hinreichend große Fläche der Metalle in Berührung kommen. Daher ist es angebracht, daß diese Fläche die Form einer Platte besitzt. Der übrige Teil des Bogens

kann beliebig schmal sein und sogar aus einem einfachen Metalldraht bestehen. Er kann selbst aus einem dritten Metall gefertigt sein.

Eine Folge von 30, 40 oder 60 dieser auf solche Weise verbundenen Becher, die entweder in einer geraden Linie oder in einer beliebigen Kurve angeordnet sein können, das ist alles, woraus dieser neue Apparat besteht. Im Prinzip und in Anbetracht der ihn bildenden Substanzen stimmt er mit dem obenbeschriebenen Säulenapparat überein.

Um eine Erschütterung zu erhalten, genügt es, die eine Hand in einen der Becher und einen Finger der anderen

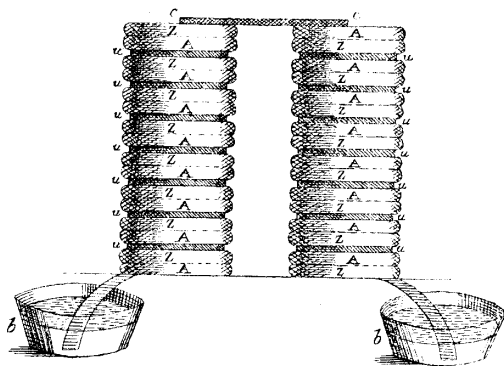


Abb. 8. Voltas aus zwei Teilen zusammengesetzte Säule.

Hand in einen zweiten Becher zu tauchen, der weit genug von jenem entfernt ist. Man wird leicht begreifen, daß diese Erschütterung um so stärker sein wird, je weiter die beiden Becher voneinander abstehen, d. h. je mehr Becher sich dazwischen befinden. Man wird folglich den stärksten Schlag erhalten, wenn man das erste und das letzte Glied dieser Kette berührt.

Was den Säulenapparat anbelangt, so habe ich gesucht, ihn durch Vermehrung der Metallplatten zu verlängern, unter Beseitigung der Gefahr des Umfallens, ferner ihn handlich und tragbar und vor allem dauerhaft zu machen.

Das beste Mittel, um einen Apparat aus einer sehr großen Zahl von Platten zu bauen, besteht darin, die Säule

in zwei oder mehr Säulen zu zerlegen, wie man aus Abb. 8 ersieht. Dort sind die Teile ganz in der Lage und der entsprechenden Verbindung geblieben, als wenn es eine einzige Säule wäre. Man kann in der That die Abb. 8 als eine nur geknickte Säule ansehen.

In sämtlichen erwähnten Abbildungen sind die verschiedenartigen Metallplatten durch die Buchstaben A und Z (die Anfangsbuchstaben von argent und zinc) und die durchweichten, aus Tuch oder Leder hergestellten Scheiben, die zwischen den Metallpaaren eingeschaltet sind, durch einen schwarzen Strich kenntlich gemacht. Die punktierten Linien bezeichnen die Berührungsflächen der Metalle innerhalb eines jeden Paares; c c ist die Metallplatte, welche einen Säulenteil mit dem anderen in Verbindung setzt; und h, h sind die Wasserbehälter, die mit den Füßen oder Enden der Säulen in Verbindung stehen.

Ein so aufgebauter Apparat ist ganz handlich und nicht zu groß; man kann ihn noch besser tragbar machen, wenn man jede Säule in eine Hülse oder Röhre einschließt. Es ist nur schade, daß er sich nicht lange hält. Die durchweichten Platten trocknen in ein oder zwei Tagen ein, so daß man sie von neuem anfeuchten muß. Dies läßt sich allerdings bewerkstelligen, ohne daß man den ganzen Apparat auseinandernimmt, wenn man die Säulen ganz in Wasser taucht und darauf von außen mit Leinen oder sonstwie so gut wie möglich abtrocknet.

Das beste Verfahren, den Apparat so dauerhaft zu machen, wie man nur wünschen kann, würde darin bestehen, das zwischen den Metallpaaren befindliche Wasser einzuschließen und zurückzuhalten und diese Platten in ihrer Lage zu erhalten, indem man die ganze Säule mit Wachs oder Pech überzieht. Aber das ist ein wenig schwierig in der Ausführung und erfordert viel Geduld. Es ist mir aber dennoch gelungen; und ich habe auf diese Weise zwei Zylinder aus 20 Metallpaaren hergestellt, die noch nach mehreren Wochen gute Dienste leisten, und es hoffentlich auch noch nach Monaten tun werden.

Die Wirkungen, die ein aus 40 oder 50 Plattenpaaren hergestellter Apparat hervorruft, beschränken sich nicht auf Erschütterungen, sondern er erregt auch die Organe des

Geschmacks-, des Gesichts-, des Gehörs- und des eigentlichen Gefühlsinnes und ruft in ihnen die einem jeden entsprechenden Empfindungen hervor.

Wenn ich durch Eintauchen der Hand in das Wasser des Behälters einerseits eine gute Verbindung mit einem der Enden meines Apparates herstelle, und andererseits auf die angefeuchtete Stirn oder auf die Nasenspitze oder irgendeinen anderen Körperteil, dessen Haut genügend empfindlich ist, das Ende eines Metalldrahtes drücke, der mit dem anderen Ende des genannten Apparates verbunden ist, so fühle ich in dem Augenblick, in welchem der leitende Kreis geschlossen wird, an der berührten Stelle der Haut und ein wenig darüber hinaus, einen Schlag und einen Stich, die schnell vorübergehen und sich so oft wiederholen, wie man diesen Kreis öffnet und schließt, dergestalt daß dieser Wechsel, wenn er häufig stattfindet, ein sehr unangenehmes Prideln und Stechen hervorruft. Bleibt jedoch die Verbindung ohne eine Unterbrechung des Kreises bestehen, so fühlt man einige Augenblicke nichts mehr; darauf entsteht aber in dem von dem Drahtende berührten Körperteil eine andere Empfindung, nämlich ein scharfer, ohne Erschütterung auftretender Schmerz, der sich auf die berührte Stelle beschränkt, ein Brennen, das nicht nur andauert, sondern immer stärker und schließlich unerträglich wird, und das erst aufhört, wenn man den Kreis unterbricht. Welch ein augenscheinlicher Beweis dafür, daß der elektrische Strom andauert, solange die leitenden Substanzen, welche den Kreis bilden, in Verbindung stehen, und daß erst, wenn wir diese Verbindung aufheben, ein solcher Strom unterbrochen wird. Daß das elektrische Fluidum unaufhörlich kreist, kann paradox erscheinen und unerklärlich sein. Nichtsdestoweniger ist es tatsächlich so; es läßt sich sozusagen mit den Händen greifen."

An die Erfindung der Voltaschen Säule schlossen sich rasch eine Anzahl von Verbesserungen und Entdeckungen an. Man lötete z. B. die Metallplatten, die man zunächst nur durch Aufeinanderlegen zu Plattenpaaren vereinigt hatte, zusammen. Daß die physiologische Wirkung der Säule mit der Zahl der Platten zunimmt, hatte schon Volta nachgewiesen. Daß das gleiche für die chemische und für die Wärmewirkung gilt, und daß bei diesen Erscheinungen auch

der Durchmesser der Platten eine erhebliche Rolle spielt, wurde in den ersten Jahren nach der Erfindung der Säule von anderen Forschern erkannt.

Man fand z. B., daß eine Säule aus großen Platten einen Draht, den man zwischen ihre Pole einschaltet, leichter erhitzt als eine Säule, die aus einer größeren Zahl von kleinen Platten gebildet ist. Während z. B. 400 Plattenpaare von 4 Zoll Durchmesser, nachdem man sie zu einer Säule vereinigt hatte, nur einen Eisendraht von höchstens 2 Zoll Länge zum Erglühen brachten, war eine zweite Säule von nur 100 Plattenpaaren, die aber dafür einen Durchmesser von 8 Zoll besaßen, imstande, ein 32 Zoll langes Stüd desselben Eisendrahtes glühend zu machen.

Nachdem Volta dargetan hatte, daß zwei verschiedenartige Metalle durch bloße Berührung, ohne die Zuhilfenahme einer feuchten Zwischensubstanz entgegengesetzt elektrisch werden (Volta's Fundamentalversuch), lag der Gedanke nahe, eine galvanische Säule ohne Flüssigkeit (Trockensäule) zu konstruieren. Am bekanntesten ist die Trockensäule

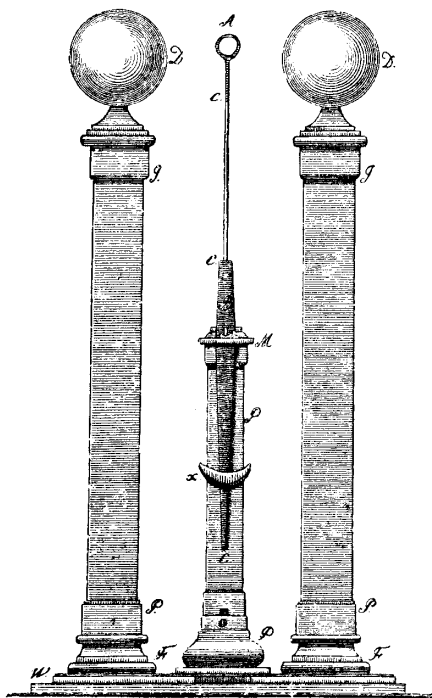


Abb. 9. Zamboni's Trockensäule.

säule von Zamboni geworden. Sie besteht aus Scheibchen von Gold- und Silberpapier, die man tausendfach übereinanderschichtet, und gibt Sunken von einem halben Zoll Länge. Mit Hilfe seiner Säule stellte Zamboni eine Art Perpetuum mobile her, dessen Verhalten aus Abb. 9 ersichtlich ist. Zwischen den entgegengesetzten Polen D D der Säule wurde eine pendelnde Nadel c c c angebracht. Das obere Ende A der Nadel wurde von den Polen der Säule ab-

wechselnd angezogen und nach jeder Berührung wieder abgestoßen (elektrisches Pendel), so daß die Nadel fortwährend hin und her pendelte.

Von größerer Bedeutung war die Entdeckung der Polarisierung und des Polarisationsstromes. Man kam auf den Gedanken, eine Säule ausschließlich aus einem Metall und feuchten Tuchscheiben zusammenzusetzen. Diese Säule gab natürlich zunächst keinen Strom. Nachdem man sie aber einige Zeit mit einer kräftigen Volta'schen Säule in Verbindung gesetzt hatte, lieferte auch die aus einem Metall bestehende Säule einen galvanischen Strom. Es machte also den Eindruck, als ob sich die Elektrizität der galvanischen Säule auf diese Weise aufspeichern ließ. Die neue, nur aus einem Metall bestehende Säule wurde deshalb „Ladungssäule“ genannt. Volta selbst hat später ihr Verhalten erklärt. Er zeigte, daß es auf der chemischen Zersetzung des in den Tuchstücken enthaltenen Wassers beruht. Infolgedessen überzieht sich jede Metallplatte mit einer Wasserstoffsicht auf der dem positiven Pole der Volta'schen Säule zugekehrten und mit einer Sauerstoffsicht auf der dem negativen Pole zugekehrten Seite. Eine solche aus zwei gasförmigen Stoffen und einem Metall bestehende Säule wirkt nach ihrer Trennung von der ladenden Batterie so lange, bis sich das zersetzte Wasser zurückgebildet hat. Die „Ladungssäule“ ist somit die erste Form des „Akkumulators“, und Volta hatte mit seiner Erklärung das Prinzip der Polarisierung, das Planté bei der Konstruktion seiner sekundären Elemente leitete, ganz richtig dargestellt.

Der von der Ladungssäule ausgehende Strom, der Polarisationsstrom, ist dem Strom der Volta'schen Säule, die zur Ladung diente, entgegengesetzt. Dies macht sich dadurch bemerkbar, daß der Strom der Volta'schen Säule durch Einschalten einer Ladungssäule oder eines ähnlichen Zersetzungsapparates rasch geschwächt wird. Man erkannte, daß aus demselben Grunde, nämlich infolge des Auftretens von Zersetzungsprodukten innerhalb der Volta'schen Säule ihre Wirkung abnimmt, auch wenn sie gar nicht mit einer „Ladungssäule“ verbunden ist. Das Bestreben, hier Abhilfe zu schaffen, führte zur Konstruktion der „konstanten Elemente“. Solche Elemente erfanden Daniell (1836), Bunsen, Leclanché und andere. Bunsen benutzte Zink und Kohle. Das Zink ließ er in verdünnte Schwefelsäure, die Kohle in Salpetersäure tauchen. Letztere befindet sich mitsamt der Kohle in einem porösen Tonzylinder, der in ein mit verdünnter Schwefelsäure gefülltes und gleichzeitig das Zink enthaltendes Glasgefäß eintaucht. Liefert das Element Strom, so wird der an der Kohle sich abscheidende Wasserstoff durch die Salpetersäure zu Wasser oxydiert. Der Sauerstoff geht an das Zink. Es entsteht Zinkoxyd, das sich in der verdünnten Schwefelsäure zu Zinksulfat auflöst.

VII. Davy untersucht die chemische Wirkung der galvanischen Säule.

Die Erfindung Voltas erregte vor allem in England und Frankreich, die um 1800 die Führung auf dem Gebiete der exakten Wissenschaften besaßen, das größte Aufsehen. Auf Veranlassung Napoleons erschien Volta in Paris, um über seine Erfindung eingehend zu berichten. Napoleon, der den Wissenschaften stets das größte Interesse entgegenbrachte, verlieh Volta eine goldene Medaille und stiftete einen Ehrenpreis für hervorragende Arbeiten auf dem durch Galvani und Volta erschlossenen Gebiete der Berührungselektrizität. Zu den ersten, die sich diesen Preis erwarben, gehörte der Engländer Davy. Er hat durch seine Arbeiten die Elektrochemie begründet. Davy erhielt den Preis, obgleich Napoleon damals gegen England Krieg führte.

Die ersten Untersuchungen über die chemische Wirkung der galvanischen Säule stellten die Engländer Carlisle und Nicholson an. Um eine bessere Berührung des Schließungsdrahtes mit der oberen Platte der Batterie zu bewerkstelligen, befeuchtete Carlisle die letztere mit einem Tropfen Wasser. Dabei beobachtete er, daß sich um den Draht herum Gasbläschen bildeten. Eine genauere Untersuchung dieser Erscheinung unternahm Carlisle zusammen mit Nicholson. Letzterer berichtete über das Ergebnis mit folgenden Worten ¹⁾:

„Carlisles Beobachtung, daß sich um den berührenden Draht herum Gasblasen entwickeln, bewog uns, den elektrischen Strom durch zwei Messingdrähte zu führen, welche in einer mit Korkstöpfeln verschlossenen, $\frac{1}{2}$ Zoll weiten Röhre voll frischen Flußwassers, $1\frac{3}{4}$ Zoll voneinander endigten. Der eine Draht wurde mit der oberen, der andere mit der unteren Platte einer galvanisierten Säule in Berührung gesetzt. Sogleich erhob sich in der Röhre aus der Spitze des unteren, mit dem Silber verbundenen Drahtes ein feiner Strom kleiner Gasblasen, und die darüber stehende

¹⁾ Gilberts Annalen der Physik, Bd. 6 (1800), S. 340.

Spitze des anderen Drahtes begann anzulaufen. Gemischt mit einer gleichen Menge atmosphärischer Luft, explodierte das entstandene Gas bei der Annäherung eines brennenden Wachsstockes.

Gleich beim ersten Erscheinen des Wasserstoffgases hatten wir eine Zersetzung des Wassers in diesem Versuche erwartet; daß sich aber der Wasserstoff nur an dem Ende des einen Drahtes entwickelte, während sich der Sauerstoff mit dem anderen verband, der beinahe 2 Zoll von jenem abstand, überraschte uns nicht wenig. Ich untersuchte darauf das Verhalten solcher Metalle, die sich schwer oxydieren lassen. Ich befestigte nämlich zwei Platindrähte in einer kurzen Röhre von $\frac{1}{4}$ Zoll innerem Durchmesser. Als diese Vorrichtung mit der Säule in Verbindung gesetzt wurde, gab der mit Silber verbundene Draht einen sehr reichlichen Strom feiner Gasbläschen, und auch aus dem mit dem Zink verbundenen Draht strömte ein Gasstrom, doch minder stark, hervor. Es war natürlich zu vermuten, daß der von der Silberseite herkommende größere Strom Wasserstoffgas, der kleinere von der Zinkseite herströmende Sauerstoffgas sei. Die Untersuchung bestätigte diese Erwartung."

An die wichtige Entdeckung, daß sich das Wasser durch den galvanischen Strom in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegen läßt, reihte sich die Beobachtung, daß auch Salze, z. B. Kupfervitriol, unter Abscheidung von Metall durch den Strom zersetzt werden. Es lag nahe, das neue Hilfsmittel auch auf Stoffe anzuwenden, über deren chemische Zusammensetzung man bis dahin im unklaren war. Diesen Weg beschritt Davy (1778—1829), der auch durch seinen Anteil an der Erfindung des Bogenlichtes und als Erfinder der Sicherheitslampe bekannt geworden ist. Im Jahre 1807 gelang es Davy, mit Hilfe des galvanischen Stromes aus dem Kali und dem Natron zwei neue Metalle mit wunderbaren Eigenschaften abzuspalten. Nachstehend ist Davys Bericht über diese Entdeckung allerersten Ranges wiedergegeben ¹⁾:

"In der Vorlesung, die ich im vergangenen Jahre zu halten die Ehre hatte, sind von mir eine große Menge

¹⁾ Die Abhandlung erschien in den Berichten (Philosophical transactions) der Königlichen Gesellschaft (Royal Society) in London. Eine vollständige Übersetzung bringt das 45. Bändchen von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften. Leipzig, W. Engelmann, 1893.

Zersezungen und chemische Veränderungen beschrieben worden, welche die Elektrizität in Körpern bewirkt, deren Bestandteile bekannt sind. Schon damals wagte ich den Schluß zu ziehen, daß die neue Methode der Untersuchung zu einer genaueren Kenntnis der Elemente der Körper führen würde. Während einer Reihe sehr mühsamer Anwendungen der Elektrolyse auf Körper, die bisher einfach schienen und durch die Einwirkung der gewöhnlichen Mittel noch nicht zersezt worden waren, habe ich das Glück gehabt, neue und merkwürdige Ergebnisse zu erhalten.

Ich versuchte zuerst, die feuerbeständigen Alkalien¹⁾ in ihren wässerigen, bei gewöhnlicher Temperatur gesättigten Lösungen mit Hilfe der stärksten elektrisch-galvanischen Apparate, die mir zu Gebote standen, zu zersezzen. Bei aller Intensität der Wirkung wurde jedoch das Wasser allein angegriffen, und unter großer Hitze und heftigem Aufbrausen entwickelten sich bloß Wasserstoff und Sauerstoff.

Ich schmolz daher bei meinen ferneren Versuchen Kali, indem ich es in einen Platinlöffel legte und aus einem Gasometer Sauerstoffgas durch die Flamme einer Weingeistlampe darauf blasen ließ. Während das Kali auf diese Art einige Minuten lang in heftiger Rotglühhitze und im Zustande vollkommener Flüssigkeit erhalten wurde, sezte ich den Löffel mit dem positiven und das Kali selbst durch einen Platindraht mit dem negativen Ende des galvanischen Apparates in leitende Verbindung. Bei dieser Anordnung zeigten sich mehrere glänzende Erscheinungen. Das Kali war nun in hohem Grade leitend, und solange die Verbindung dauerte, sah man am negativen Drahte ein sehr lebhaftes Licht und im Berührungspunkte eine Flammensäule, die von einem sich hier entbindenden, brennbaren Stoff herzurühren schien²⁾. Als ich die Anordnung änderte

¹⁾ Es sind dies die Verbindungen der Metalle Kalium und Natrium mit Sauerstoff, das Kali und das Natron (K_2O und Na_2O), welche vor Davy für unzerlegbare Körper gehalten wurden, wenn auch Lavoisier bereits ihre zusammengesetzte Natur vermutet hatte. Die Alkalien verflüchtigen sich erst bei einer der Weißglut sich nähernden Temperatur. Auch die Verbindungen von Kalium- und Natriumoxyd mit Wasser (KOH und $NaOH$) werden Alkalien genannt.

²⁾ Das freierwerdende Metall Kalium verband sich bei dieser

und den negativen Draht mit dem Platinlöffel, den positiven mit dem Platindraht, der das Kali berührte, verband, erschien an der Spitze des Drahtes ein lebhaftes, bleibendes Licht; an diesem Licht ließ sich aber nichts wahrnehmen, was einem Verbrennen geglichen hätte.

Das Kali schien bei diesem Versuch vollkommen trocken zu sein, und es ließ sich daher annehmen, daß der brennbare Körper, der während der Einwirkung der Elektrizität am negativen Drahte sich zu bilden schien, durch die Zersetzung des Kalis entstehe. Ich versuchte es auf verschiedene Weise, diesen brennbaren Körper aufzufangen, jedoch umsonst. Dies gelang mir erst, als ich die Elektrizität zugleich als Schmelzungs- und Zersetzungsmittel auf das Kali einwirken ließ.

Kali, das man durch Glühen vollkommen getrocknet hat, ist zwar ein Nichtleiter der Elektrizität, wird aber schon leitend durch sehr wenig Feuchtigkeits, welche den festen Zustand des Kalis nicht merklich ändert; in diesem Zustande nun wird es durch eine etwas energische Einwirkung geschmolzen und zersetzt.

Ich nahm ein kleines Stück reines Kali, ließ es einige Sekunden mit der Atmosphäre in Berührung kommen, wodurch es an der Oberfläche leitend wurde, legte es auf eine isolierte Platinscheibe, die mit dem negativen Ende einer Batterie verbunden war, und berührte die Oberfläche des Kalis mit dem positiven Platindrahte. Der ganze Apparat stand an freier Luft. Sogleich zeigte sich eine sehr lebhafte Wirkung. Das Kali begann zu schmelzen. An der oberen Fläche sah man ein heftiges Aufbrausen; an der unteren oder negativen Fläche war keine Gasentwicklung wahrzunehmen; ich entdeckte aber kleine Kügelchen, die einen sehr lebhaften Metallglanz hatten und wie Quecksilber aussahen.

Eine Menge von Versuchen bewiesen mir alsbald, daß diese Kügelchen die Substanz seien, nach der ich suchte, nämlich ein brennbarer Körper eigentümlicher Art, und zwar das dem Kali zugrunde liegende Metall. Ich fand,

Versuchsanordnung gleich wieder mit dem Sauerstoff der atmosphärischen Luft.

daß die Gegenwart von Platin ohne Einfluß auf das Ergebnis ist, und daß dieses Metall nur die Elektrizität zu-
führt, welche die Zersetzung bewirken soll. Es entstand
nämlich immer dieselbe Substanz, ich mochte den Strom-
kreis durch Stücke Kupfer, Silber, Gold, Graphit oder selbst
durch Kohle schließen.

Natron ergab ähnliche Ergebnisse wie das Kali, wenn
man es auf dieselbe Art behandelte.

Bei allen Zersetzungen chemischer Verbindungen, die
ich bis dahin untersucht hatte, waren stets die brennbaren
Elemente am negativen Pole entbunden worden, während
der Sauerstoff am positiven Pole zum Vorschein kam oder
dort in Verbindung trat. Es war daher der natürlichste
Gedanke, daß bei der Einwirkung der Elektrizität auf die
Alkalien die neuen Substanzen auf ganz ähnliche Weise
erzeugt werden.

Ich habe mehrere Versuche in einem mit Quecksilber
abgesperrten Apparat, bei dem die äußere Luft aus-
geschlossen war, angestellt. Diese Versuche bewiesen, daß
sich die Sache in der That so verhält. Wenn man nämlich
festes Kali oder Natron, die so viel Feuchtigkeit eingesogen
haben, daß sie die Elektrizität leiten, in Glasröhren ein-
schließt, die mit Platindrähten versehen und vermöge dieser
Drähte in den Stromkreis gebracht sind, so entstehen die
neuen Substanzen an den negativen Metallflächen. Das
Gas, das sich während dessen an der positiven Metallspitze
entbindet, ist ganz reiner Sauerstoff, wie die sorgfältigste
und genaueste Prüfung bewiesen hat. Am negativen Pole
erscheint gar kein Gas, außer wenn Wasser im Überflusse
vorhanden ist ¹⁾).

Auch die folgenden, s y n t h e t i s c h e n Versuche
stimmen hiermit vollkommen überein:

Die aus dem Kali erzeugte Substanz verliert ihren
Metallglanz an der Luft fast augenblicklich und überzieht
sich mit einer weißen Rinde. Ich fand sehr bald, daß diese
Rinde reines Kali ist, das sogleich zerfließt; es bildet sich
dann eine neue Rinde, die wieder Feuchtigkeit aus der

¹⁾ Dann wird nämlich durch die Einwirkung des entstandenen
Kaliums auf das Wasser Wasserstoff entwickelt.

Luft an sich zieht. Endlich verschwindet das Kügelchen ganz, und man hat statt dessen eine gesättigte Lösung von Kali¹⁾.

In besonders dazu eingerichteten, durch Quecksilber abgesperrten Glasröhren wurden einige Kügelchen mit atmosphärischer Luft, andere mit Sauerstoff in Berührung gebracht. Sie verschluckten augenblicklich den Sauerstoff und überzogen sich mit einer Rinde von Kaliumoxyd. Da es aber an Feuchtigkeit, dies Oxyd aufzulösen, fehlte, so beschränkte sich der Prozeß hierauf, und das Innere des Kügelchens blieb unverändert, indem jene Rinde das Sauerstoffgas außer Berührung mit dem Innern setzte.

Mit dem Grundstoff des Natrons (dem Element Natrium) erfolgen in beiden Fällen ähnliche Wirkungen.

Werden die aus Kali und Natron erhaltenen Elemente in einer gegebenen, rings umschlossenen Menge Sauerstoff erhitzt, so verbrennen sie schnell mit weißer, glänzender Flamme, und die metallischen Kügelchen verwandeln sich in eine feste, weiße Masse, die aus Kali oder Natron besteht, je nachdem man Kalium oder Natrium zu dem Versuche genommen hat. Dabei wird Sauerstoff verschluckt. Die Oxyde, welche bei diesem Versuch entstanden, waren dem Anschein nach trocken oder enthielten wenigstens nicht mehr Feuchtigkeit, als sich in dem verschluckten Sauerstoffgas befinden haben konnte. Ihr Gewicht übertraf das der verbrannten Substanzen bedeutend.

Diese Thatfachen berechtigten uns, anzunehmen, daß sich Kali und Natron in Sauerstoff und zwei eigentümliche Grundstoffe zerlegen lassen, wie Phosphorsäure, Schwefelsäure und Metalloxyde in Sauerstoff, und eigentümliche, brennbare Grundstoffe zerseßbar sind²⁾.

Die Eigenschaften des Kaliums.

Ich habe sehr viel Schwierigkeit darin gefunden, die Grundstoffe der feuerbeständigen Alkalien, nachdem ich sie entdeckt hatte, aufzubewahren und sie so zu verschließen,

¹⁾ $2K + O = K_2O$; $K_2O + H_2O = 2KOH$.

²⁾ Damals wurden die Oxyde von Phosphor und Schwefel als Säuren bezeichnet, während wir jetzt der Vereinigung dieser Oxyde mit Wasser den Namen Säure beilegen.

daß sich ihre Eigenschaften untersuchen ließen. Steinöl ist von den Flüssigkeiten, die ich daraufhin untersucht habe, diejenige, auf welche diese Stoffe die geringste Einwirkung zu haben scheinen. Sie erhalten sich darin, wenn die atmosphärische Luft ausgeschlossen ist, mehrere Tage lang, ohne sich merklich zu verändern. Zur Untersuchung ihrer physikalischen Eigenschaften kann man die Alkalimetalle selbst an die offene Luft bringen, wenn sie mit einer dünnen Hülle von Steinöl versehen sind.

Um in Dampf verwandelt zu werden, erfordert das Kalium eine Temperatur, welche der Rotglühhitze nahekommt. Es ist ein vollkommener Leiter der Elektrizität und ein vortrefflicher Wärmeleiter. Obgleich es in den bisher erwähnten Eigenschaften mit den Metallen übereinstimmt, so unterscheidet es sich von ihnen doch durch sein spezifisches Gewicht ¹⁾.

Noch außerordentlicher als diese physikalischen Eigenschaften ist das chemische Verhalten des Kaliums. Vom Verbrennen des Kaliums im Sauerstoff habe ich bereits geredet. Langsam und ohne Flamme verbindet es sich mit Sauerstoff bei gewöhnlicher Temperatur. In der Hitze dagegen findet ein schnelles Verbrennen statt; das Licht ist dabei blendend weiß und die Hitze sehr stark.

Wirft man Kalium auf Wasser, das mit der Luft in freier Berührung ist, oder bringt man es in einen Tropfen Wasser, so wird letzteres mit großer Heftigkeit zersetzt; es entsteht augenblicklich eine heftige Explosion mit glänzender Flamme, und man erhält eine Auflösung von reinem Kali. Ist dagegen die Luft ausgeschlossen, so erfolgt eine heftige Zersetzung des Wassers mit viel Hitze und Geräusch, aber ohne Licht, und das Gas, das man vermittels des pneumatischen Quecksilber- oder Wasserapparates auffängt, ist reiner Wasserstoff ²⁾.

Metalloxyde, die man mit Kalium erhitzt, werden

¹⁾ Das spezifische Gewicht ist 0,865. Davy hielt es nach seinen Bestimmungen für noch geringer.

²⁾ Das Kalium reduziert das Wasser, d. h. es entzieht ihm seinen Sauerstoff, wodurch der Wasserstoff in Freiheit gesetzt wird:

$$2\text{K} + \text{H}_2\text{O} = \text{K}_2\text{O} + 2\text{H}.$$

schnell reduziert. Als ich ein wenig Eisenoryd mit Kalium auf eine Temperatur erwärmte, bei welcher das Kalium überdestilliert, entstand eine lebhaftere Einwirkung. Es erschienen Teilchen von Kali und Teilchen eines grauen Metalls, das sich in Salzsäure unter Aufbrausen löste. Bleioryd und Zinnoxyd wurden noch schneller reduziert. War Kalium im Überschuß vorhanden, so verband sich das wiedergewonnene Metall mit dem Kalium zu einer Legierung.

Die Eigenschaften des Natriums.

Das Natrium, der Grundstoff des Natrons, ist, wie schon erwähnt, bei gewöhnlicher Temperatur ein fester Körper. Es ist weiß und undurchsichtig, und wenn man es durch einen dünnen Überzug von Steinöl sieht, so hat es den Glanz und die Farbe des Silbers. Es ist außerordentlich dehnbar und weißer als irgendeins der gewöhnlichen Metalle. Natrium ist ein Leiter der Elektrizität und der Wärme wie das Kalium. Sein spezifisches Gewicht ist geringer als das des Wassers ¹⁾).

Das chemische Verhalten des Natriums ist im ganzen dem des Kaliums ähnlich, doch finden sich dabei einige charakteristische Verschiedenheiten.

Bringt man das Natrium mit der Luft in Berührung, so läuft es wie das Kalium sogleich an und überzieht sich allmählich mit einer weißen Rinde, die aber langsamer als beim Kalium zerfließt. Ich habe diese Rinde sorgfältig untersucht, sie war nichts als reines Natron.

Bei gewöhnlicher Temperatur verbindet sich das Natrium mit dem Sauerstoff langsam. Wenn man es erhitzt, so geht die Verbindung schneller vor sich; Licht erscheint aber dabei erst, wenn man die Temperatur bis nahe an die Glühhitze erhöht hat. Im Sauerstoff brennt Natrium mit weißer Flamme und sprüht glänzende Funken umher.

Am auffallendsten gibt sich die Natur des Natriums durch seine Einwirkung auf Wasser zu erkennen. Wenn man es auf Wasser wirft, entsteht sogleich ein heftiges Aufbrausen und Zischen; es bildet mit dem Sauerstoff des Wassers

²⁾ Genauere Bestimmungen haben für das spezifische Gewicht des reinen Natriums den Wert 0,974 ergeben.

Natron, das sich sogleich auflöst; dabei entweicht Wasserstoffgas, ohne daß Lichtentwicklung eintritt. Auf heißem Wasser ist die Zersetzung heftiger, und es zeigt sich an der Oberfläche des Wassers meist ein kleines Funkenprühen, das wahrscheinlich von Teilchen der Substanz herrührt, die abgerissen und mit der zur Entzündung nötigen Temperatur in die Luft geschleudert werden. Wenn man indes ein Kügelchen mit einem kleinen Wassertröpfchen oder mit feuchtem Papier in Berührung bringt, so reicht die Hitze, welche entsteht, gewöhnlich hin, das Natrium zu entzünden, weil in diesem Falle kein Körper da ist, der die Wärme schnell entführt.

Die Verwandtschaftskräfte der neuen Metalle, die in den Alkalien enthalten sind, führen zu einer nicht zu ermessenden Menge von Versuchen.

Diese Metalle werden mächtige Agentien für die chemische Analyse. Und da sie an Verwandtschaft zum Sauerstoff alle anderen bekannten Körper übertreffen, so werden sie vielleicht bei einigen bisher nicht zerlegten Stoffen die Anwendung der Elektrizität ersetzen können und jene Stoffe zerlegen.

Es würde leicht sein, diese Betrachtungen noch weiter auszudehnen, doch enthalte ich mich dessen, denn die Absicht dieser Vorlesung besteht nicht darin, Vermutungen aufzustellen, sondern den Naturforscher mit einer Reihe neuer Tatsachen bekannt zu machen."

Die Elektrolyse von Kalk, Baryt, Strontian und Magnesia gelang Davy, wie er vorausgesehen. Schon ein Jahr nach der Entdeckung der Alkalimetalle konnte er den staunenden Zeitgenossen über diesen neuen großartigen Erfolg berichten. Auch die Ansicht Davys, daß die Alkalimetalle infolge ihrer außerordentlichen Affinität zum Sauerstoff neue chemische Agentien für die chemische Analyse abgeben würden, bewahrheitete sich. So wurden die Grundstoffe der Kieselerde und der Tonerde, das Silizium und das Aluminium nämlich, zuerst durch die Einwirkung der Alkalimetalle aus ihren Verbindungen abgeschieden. Die Gewinnung des Aluminiums mit Hilfe des elektrischen Stromes erfolgte erst später.

VIII. Licht- und Wärmewirkung des elektrischen Stromes.

Mit der Licht- und Wärmewirkung der Elektrizität wurde man schon im 18. Jahrhundert genauer bekannt. Franklin und andere Physiker jenes Zeitraums beobachteten, daß die elektrische Entladung dünne Eisen- oder Messingdrähte zum Schmelzen bringt.

An eine technische Verwendung dieser Wärmewirkung dachte zunächst niemand, doch kam man schon damals auf den Gedanken, ob sich die Elektrizität nicht zu Beleuchtungszwecken verwenden lasse. Indessen erst, nachdem an die Stelle der kurzen Entladungen die andauernde Wirkung der galvanischen Elektrizität getreten war, ließ sich jener zunächst ganz utopisch erscheinende Gedanke verwirklichen. Daß sich unter Zuhilfenahme einer genügenden Anzahl von galvanischen Elementen zwischen zwei Kohlenstippen ein geradezu blendendes elektrisches Licht erzeugen läßt, wiesen de la Rive und Davy (1820 und 1821) nach. Jedoch erst, nachdem Daniell und Bunsen kräftigere Elemente geschaffen und nachdem man die Koks- oder Holzkohlenstücke, die man zuerst anwandte, durch eine besonders präparierte Kohle ersetzt hatte, erregte das Bogenlicht mehr als das rein wissenschaftliche Interesse. Um die neue Lichtquelle praktisch verwerten zu können, war es auch noch nötig, das Nachschieben der abbrennenden Kohlenstippen durch eine selbsttätig wirkende Einrichtung zu ersetzen. Man erreichte dies zunächst dadurch, daß man die Kohlenstifte nicht einander gegenüberstellte, sondern sie parallel anordnete. Um bei dieser Anordnung den Lichtbogen hervorzurufen, wurden die Enden der Stifte durch einen Kohlefaden verbunden. Im übrigen trennte man sie durch eine isolierende Masse, die in dem Maße abschmolz, in dem die Stifte kürzer wurden. Die vollkommenste Lösung des Problems bot Werner Siemens in seiner Differentiallampe. Bei dieser bewirkte der Strom selbst ganz automatisch, daß die Kohlenstippen sich in dem Maße wieder näherrücken, in dem die Kohle abbrennt.

Die ersten Versuche, den Strom zur Erzeugung von Glühlicht zu benutzen, erfolgten in den Jahren 1838 und 1840. Man wandte Platin oder dünne Kohlenstäbe an, die man in luftleer gemachte Glasgefäße einschloß. An Stelle des bei 1800 Grad schmelzenden

Platins verwendet man heute das erst bei 2500 Grad schmelzende Osmium oder eine Legierung von Osmium und Wolfram (in der 1906 eingeführten Ostramlampe der Auergesellschaft). Die ersten praktischen Erfolge in der Verwendung von Glühlampen gehen auf Edison zurück, der 1879 eine größere Beleuchtungsanlage schuf, bei welcher in evakuierten Birnen verkohlte Bambusfasern zum Glühen gebracht wurden.

Saß ebenso lange wie mit der Lichtwirkung ist man mit der Wärmewirkung der Elektrizität bekannt. So zeigte Kinnersley, ein Zeitgenosse Franklins, indem er die Entladung einer Batterie von Leydener Glaschen durch einen Draht vor sich gehen ließ, daß Metalle mittels der Elektrizität zum Glühen gebracht und sogar geschmolzen werden können.

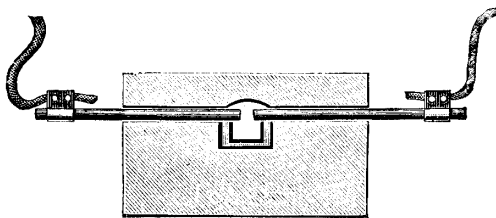


Abb. 10. Moissans elektrischer Ofen.

„Ihr herrlicher Versuch,“ schrieb Franklin an Kinnersley, „setzt außer Zweifel, daß unsere künstliche Elektrizität Hitze hervorbringt und Metalle zu schmelzen vermag.“

Heute ist die Elektrizität eines der wichtigsten Mittel zur Erzeugung außerordentlich hoher Wärmegrade. Man erreichte dies durch die Erfindung des elektrischen Ofens, um die sich besonders Moissan verdient gemacht hat. Er stellte sich das Ziel, in eine „kleinstmögliche Höhlung den stärkstmöglichen elektrischen Lichtbogen einzuschließen und so ein Temperaturmaximum zu erreichen“.

Als Material für den elektrischen Ofen wird gebrannter Kalk benutzt, der fast unschmelzbar und ein schlechter Wärmeleiter ist. Der elektrische Ofen hat die Gewinnung von Kalziumkarbid und Karborund, sowie die Darstellung des Aluminiums im großen ermöglicht.

IX. Magnetische Wirkungen des elektrischen Stromes.

Zu den ersten Beobachtungen, die auf eine Beziehung zwischen der Elektrizität und dem Magnetismus hinwiesen, gehört Davys Entdeckung, daß der Lichtbogen durch die Pole eines Magneten abgelenkt und in Drehung versetzt werden kann. Es lag nahe, nun auch umgekehrt die Wirkung eines Stromes auf einen beweglich angebrachten Magneten nachzuweisen. Dies geschah durch den dänischen Physiker Oersted. In einer im Jahre 1820 verfaßten Schrift berichtet Oersted über seine Versuche und deren Ergebnisse mit folgenden Worten:

„Die ersten Versuche über den Gegenstand, den ich aufzuklären unternehme, sind in den Vorlesungen an- gestellt worden, die ich im verflossenen Winter über Elek- trizität und Magnetismus gehalten habe. Aus diesen Ver- suchen schien zu erhellen, daß die Magnetnadel sich mittels des galvanischen Apparates aus ihrer Lage bringen läßt, und zwar bei geschlossenem galvanischen Kreise. Da aber diese Versuche mit einem wenig kräftigen Apparate an- gestellt wurden, so unternahm ich es, sie mittels eines großen, aus 20 Zellen bestehenden galvanischen Apparates zu wiederholen und zu vervollständigen.

Man denke sich die beiden entgegengesetzten Enden des galvanischen Apparates durch einen Metalldraht verbunden. Diesen werde ich der Kürze halber stets den Leiter nennen.

Man bringe ein geradliniges Stück dieses Leiters in horizontaler Lage über eine gewöhnliche Magnetnadel, so daß es der Nadel parallel ist. Die Magnetnadel wird dann in Bewegung kommen; und zwar wird sie unter dem vom negativen Pole des galvanischen Apparates herkommenden Teile des Leiters nach Westen abweichen ¹⁾. War die Ent-

¹⁾ Das heißt, wenn der Nordpol der Nadel zum negativen Pole des galvanischen Apparates zeigt und die Nadel sich gleich- zeitig unter dem Draht befindet, weicht ihr Nordpol nach Westen ab.

fernung des Drahtes von der Magnetnadel nicht mehr als $\frac{3}{4}$ Zoll, so betrug diese Abweichung ungefähr 45 Grad. Bei größerer Entfernung nehmen die Abweichungswinkel ab. Übrigens ist die Abweichung verschieden je nach der Stärke des Apparates.

Der Leiter kann nach Osten oder nach Westen bewegt werden, wenn er nur immer der Nadel parallel bleibt, ohne daß dieses einen anderen Einfluß auf den Erfolg hat, als daß die Abweichung kleiner wird.

Der Leiter kann aus mehreren vereinigten Drähten oder Metallstreifen bestehen. Die Natur des Metalls verändert den Erfolg nicht, es sei denn vielleicht hinsichtlich der Größe. Wir haben Drähte aus Platin, Gold, Silber, Messing und Eisen, ferner Zinn- und Bleistreifen sowie Quecksilber mit gleichem Erfolge gebraucht. Wird der Leiter durch Wasser unterbrochen, so bleibt nicht jede Wirkung aus, es sei denn, die Wasserstrecke sei mehrere Zoll lang.

Der Leiter wirkt auf die Magnetnadel durch Glas, Metalle, Holz, Wasser und Harz, durch tönernen Gefäße und durch Steine hindurch; denn als wir zwischen den Leiter und die Nadel eine Glastafel, eine Metallplatte oder ein Brett gebracht hatten, blieb der Erfolg nicht aus. Ja, selbst alle drei vereinigt, schienen die Wirkung kaum zu schwächen, ebensowenig ein irdenes Gefäß, selbst wenn es voll Wasser war. Unsere Versuche haben auch gezeigt, daß die erwähnten Wirkungen nicht verändert werden, wenn man eine Magnetnadel nimmt, die sich in einer mit Wasser gefüllten Messingbüchse befindet.

Wenn der Leiter in einer horizontalen Ebene unter der Magnetnadel angebracht ist, so gehen alle angegebenen Wirkungen nach entgegengesetzter Richtung vor sich, als wenn er in einer über der Nadel befindlichen horizontalen Ebene sich befindet, sonst aber auf ganz gleiche Weise.

Dreht man den Leiter in der horizontalen Ebene, so daß er allmählich immer größere Winkel mit dem magnetischen Meridian macht, so wird die Abweichung der Magnetnadel vom magnetischen Meridian vermehrt, wenn das Drehen des Drahtes dem Orte der Magnetnadel zuge-

richtet ist; die Abweichung nimmt dagegen ab, wenn das Drehen von jenem Orte fort erfolgt ¹⁾).

Eine Nadel aus Messing, die nach Art der Magnetnadel aufgehängt ist, kommt durch die Wirkung des Leiters nicht in Bewegung. Auch eine Nadel aus Glas oder Gummi bleibt bei ähnlichen Versuchen in Ruhe.

Der elektrische Leiter vermag also nur auf die magnetischen Teile der Materie zu wirken.

Daß der elektrische Strom nicht in dem leitenden Drahte eingeschlossen, sondern zugleich in dem umgebenden Raume ziemlich weithin verbreitet ist, ergibt sich aus den angeführten Beobachtungen hinlänglich."

Verstedts Entdeckung wurde bald dahin vervollständigt, daß der Strom den Magneten nicht nur ablenkt, sondern auch eine vorher unmagnetische eiserne Nadel in einen Magneten zu verwandeln vermag. Die magnetisierende Wirkung zeigte sich besonders, wenn man die Nadel in eine vom Strom durchflossene Drahtspule

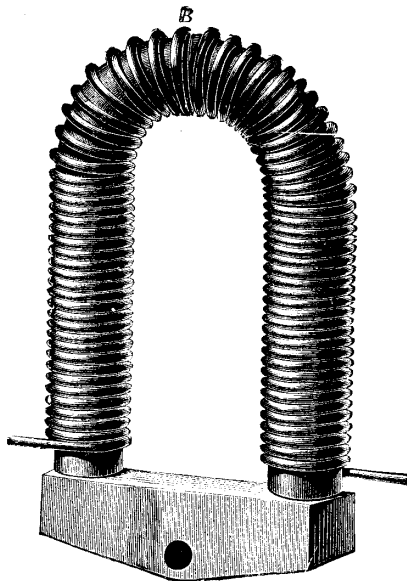


Abb. 11. Elektromagnet.

brachte. Damit beide Pole zusammen auf ein unmagnetisches Eisenstück wirken können, gab man dem zu magnetisierenden Eisen die Form eines Hufeisens. Diese, Elektromagnet genannte Vorrichtung (Abb. 11) hat die mannigfachste technische Anwendung gefunden. Auf der Anwendung des Elektromagneten beruht z. B. Morfes Schreibtelegraph.

¹⁾ Auf diesem Principe beruht die zum Messen der Stromstärke dienende Sinusbusssole, bei welcher man den Leiter so lange dreht, bis er mit der Nadel wieder in eine Ebene fällt. Die Stromstärke ist dann proportional dem Sinus des Ablenkungswinkels.

Er beruht auf folgendem Prinzip: Bedient man sich eines langen, mit einem Elektromagneten verbundenen Leitungsdrahtes und schließt man den Strom an einer von dem Magneten weit entfernten Stelle (Aufgabestation), so wird der Anker von dem Elektromagneten in demselben Augenblicke angezogen. Ein mit dem Anker verbundener Schreibstift (Empfangsstation) drückt solange gegen einen gleichmäßig vorüberziehenden Papierstreifen (Bewegung des Streifens durch ein Uhrwerk), wie der Strom auf der Aufgabestation geschlossen ist.

X. Die Entdeckung der dynamischen Wirkungen der Elektrizität.

Der Wirkung des Stromes auf den Magneten, die wir im IX. Abschnitt geschildert haben, mußte eine Gegenwirkung des Magneten auf den Strom entsprechen. Den Nachweis hierfür erbrachte Ampère ¹⁾ (1822) auf folgende Weise: Der Stromleiter wurde, wie

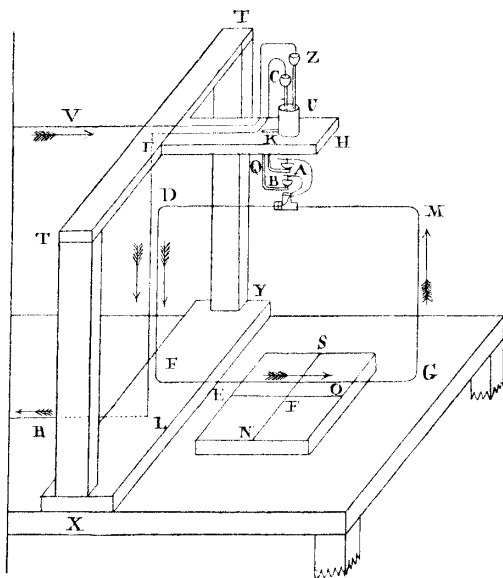


Abb. 12. Ampères beweglicher Stromleiter.

Abb. 12 zeigt, dadurch leicht beweglich gemacht, daß man ihm zunächst die Form eines Rechtecks (DFGM) gab. An den beiden Enden des den Strom leitenden Drahtes wurden ferner bei A und B

¹⁾ A. M. Ampère wurde 1775 in Lyon geboren. Er wirkte als Professor an der polytechnischen Schule in Paris und starb 1836.

senkrecht Metallspitzen angebracht. Diese Spitze ließ man darauf in zwei mit Quecksilber gefüllte Näpfschen tauchen (Abb. 12), welche gleichzeitig den Ein- und Austritt des Stromes und die Beweglichkeit des von dem Strome durchflossenen rechteckigen Metallbügels ermöglichten. Ließ Ampère auf letzteren einen Magneten wirken, so kam der Leiter nach einigen Schwankungen in einer Lage zur Ruhe, in der er mit der Verbindungslinie der Pole einen rechten Winkel bildete. Durch einen sinnreich konstruierten Apparat wies Ampère nach, daß ein beweglicher, von einem Strom durchflossener Leiter auch unter der Wirkung des Erdmagnetismus eine bestimmte Lage annimmt. Der Leiter bewegt sich nämlich so lange, bis seine Ebene senkrecht zur Richtung der Inklinationsnadel steht.

Die weiteren Untersuchungen Ampères erbrachten den Nachweis, daß galvanische Ströme anziehend oder abstoßend aufeinander wirken, je nachdem sie gleich oder entgegengesetzt gerichtet sind. Über die Entdeckung dieses wichtigen elektrodynamischen Grundgesetzes berichtet Ampère mit folgenden Worten:

„Um die Anziehung und Abstoßung der elektrischen Ströme zu beobachten, ist es unerlässlich, den Leiter, der beide Enden der Säule miteinander verbindet, oder doch einen Teil desselben beweglich zu machen. Die in Abb. 12 dargestellte Weise gibt dem Metalldraht DFGM, der als Leiter dient, eine große Beweglichkeit. An beide Enden des Drahtes sind senkrechte Stahlspitzen angelötet (Abb. 13),

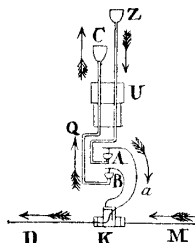


Abb. 13. Ampères Vorrichtung zum Aufhängen seines beweglichen Stromleiters.

deren obere, die wie ein Zapfen den beweglichen Leiter trägt, in einer kleinen metallenen Schale A ruht. Ebenso steht die untere Spitze, die sich senkrecht unter der ersten befinden muß, ohne sie indes zu berühren, mit einer ähnlichen Schale B in Verbindung. In beiden Schalen befindet sich etwas Quecksilber. Auf diese Weise geht der elektrische Strom, der durch die metallene, mit dem positiven Ende der Säule verbundene Kapsel Z ankommt, durch den gebogenen Schaft Z A zu der Kapsel A und dem Drahte A a D über die eine Seite des Stückes Elfenbein oder lackierten Holzes K hinweg, das den Draht festzuhalten und seine nahe beieinander liegenden Teile zu isolieren dient.

Nachdem der Strom den ganzen Drahtbügel durch-

laufen hat, kommt er durch M nach der Kapsel B, indem er über die andere Seite des isolierenden Holzstückes K weggeht, und gelangt von dort durch den Schaft B Q C zu der Schale C, die man mit dem negativen Ende der galvanischen Säule in Verbindung bringt. Der Träger U, welchen die die Kapseln A und B tragenden, gebogenen Drähte durchbohren, muß aus einer die Elektrizität genügend isolierenden Substanz, z. B. aus Holz, Kork usw., gefertigt sein. Um die leitende Verbindung zwischen dem beweglichen Metallbügel D E G M und der Kapsel A, welche den Metallbügel nur durch eine sehr feine Stahlspitze berührt, vollkommen zu machen, muß man in die Kapsel A wie in B etwas Quecksilber schütten. Überhaupt ist es gut, alle Stellen, wo zwei Teile des Stromkreises sich nur berühren, damit zu versehen. Ebenso sollten daher die Schalen C und Z etwas Quecksilber enthalten. Dann wird sich ihre Verbindung mit der galvanischen Säule sehr bequem bewerkstelligen lassen, indem man die Drähte hineintaucht, deren andere Enden mit den Polen der Säule verbunden sind.

In Abb. 12 sieht man einen Draht, der in die Form eines Rechtecks gebracht und auf die eben beschriebene Weise aufgehängt ist. Der Strom, der durch die Kapsel Z ankommt, durchläuft den ganzen, leicht beweglichen Draht in der Richtung Z A D F G M B Q C. Der Träger U (Abb. 12 und 13), der die Kapseln trägt, in welche die Stahlspitzen der Drähte eintauchen, paßt wie ein Stöpsel in eine Öffnung K, die in das an dem Rahmen X T T Y befestigte Brettchen II geschnitten ist. Der bewegliche Leiter, der sich auf der Spitze, die ihn trägt, umdreht, wird einen ganzen Kreis beschreiben können. Dies genügt für die Versuche, für die dieser Apparat bestimmt ist.

Mit diesem Apparat ist es sehr leicht, die Tatsache zu ermitteln, daß zwei parallele Metalldrähte, die von elektrischen Strömen durchflossen werden, sich anziehen, wenn die Ströme ein- und dieselbe Richtung haben, während sie sich im entgegengesetzten Falle abstoßen. Dies wird man sehen, wenn man den elektrischen Strom von dem positiven Ende der Säule durch den Draht V Z nach der Schale Z und durch den Draht C H L R zurück nach dem negativen Ende der Säule gehen läßt (den im linken Teile der Abb. 12

laufenden Pfeilen entsprechend), nachdem er den ganzen beweglichen Leiter so durchlaufen hat, daß er in dem senkrechten Drahte IL von oben nach unten gerichtet ist. In diesem Falle wird der Teil DF des Leiters sich nach dem festen Drahte IL hinbegeben und, wenn er ihn berührt hat, daran haften bleiben. Ist dagegen der Teil GM des beweglichen Leiters, in dem der Strom aufwärts steigt, in der Nähe des Drahtes IL, wo er herabsteigt, so wird der bewegliche Leiter zurückgestoßen werden und sich von IL entfernen.“

Ampère wurde anfangs wohl entgegengehalten, es handle sich hier um die bekannte Erscheinung der Anziehung und Abstoßung elektrifizierter Körper. Diesen Einwurf vermochte Ampère schon durch den Hinweis zu entkräften, daß sich entgegengesetzt elektrifizierte Körper anziehen, während sich entgegengesetzt gerichtete Ströme abstoßen.

XI. Die Entdeckung der Thermoelektrizität.

Kaum hatte man die hauptsächlichsten Wirkungen des galvanischen Stromes kennen gelernt, als man durch den deutschen Physiker Seebeck¹⁾ mit einer neuen Art der Elektrizitätserregung bekannt wurde. Wir wollen ihn hierüber selbst berichten hören²⁾:

„Bei meinen Untersuchungen über das gegenseitige Verhalten der elektrischen, chemischen und magnetischen Wirkungen der galvanischen Ketten stieß ich auf Erscheinungen, die mir anzudeuten schienen, daß auch zwei Metalle für sich, kreisförmig miteinander verbunden, ohne die Mitwirkung irgendeines feuchten Leiters auf die Magnetnadel wirken möchten. Zu den ersten in diesem Sinne un-

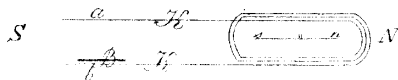


Abb. 14. Die Entdeckung der Thermoelektrizität.

genommenen Versuchen wählte ich zwei Metalle, die ich, als Glieder in den gewöhnlichen galvanischen Ketten mit Kupfer verbunden, in manchen Stücken abweichend und veränderlich gefunden hatte, nämlich Wismut und Antimon. Durch beide sah ich meine Erwartung erfüllt, doch war ihre Wirkung verschieden.

Eine Wismutscheibe (Abb. 14 B) wurde unmittelbar auf einen Kupferstreifen K gebracht. Dieser spiralförmig gewundene Streifen lag im magnetischen Meridian. Innerhalb der Spirale befand sich die Magnetnadel n s. Wurde der Kreis geschlossen, so zeigte sich sofort eine deutliche Ablenkung der Magnetnadel.

Lag die Spirale gegen Norden (wie in der Abbildung) und ihre Enden nach Süden, so wich der Nordpol n der

¹⁾ Th. J. Seebeck wurde 1770 in Reval geboren. Er wurde 1818 Mitglied der Berliner Akademie und starb 1831.

²⁾ Die betreffende Abhandlung erschien zuerst in den Berichten der Berliner Akademie der Wissenschaften von 1822/23. Siehe auch Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, Nr. 70.

Nadel n s, die sich innerhalb der Spirale befand, um einige Grade westlich ab, wenn man das obere Ende a der Spirale auf die Wismuttscheibe B niederdrückte. Die Abweichung war dagegen östlich, wenn die Spirale im Süden, die Metallscheibe im Norden war.

Wurde ein Streifen von Kupferblech bügelförmig um die Magnetnadel geschlagen und mit einer Wismuttscheibe auf die angegebene Art in Berührung gebracht, so ergab sich dieselbe Abweichung; doch war sie schwächer als bei Anwendung einer Spirale.

Eine Scheibe von Antimon zwischen den Enden der Spirale oder des einfachen Bügels aus Kupfer verhielt sich anders. Lag die Spirale gegen Norden und ihre Enden gegen Süden, so wich die Nadel innerhalb der Spirale östlich ab, wenn das obere Ende a des Kupferstreifens auf die Antimonscheibe niedergedrückt wurde. Umgekehrt war es, wenn die Spirale gegen Süden gerichtet war. Die Abweichung war dann nämlich beim Schließen des Kreises westlich. Das Verhalten des Antimons war also dem des Wismuts gerade entgegengesetzt.

Bei diesen Versuchen war die Wirkung am stärksten, wenn die Metalle unmittelbar mit der Hand berührt wurden. Sie war schwächer, wenn die Schließung mit dünnen Zwischenkörpern geschah. Ja, es fiel jede Wirkung auf die Magnetnadel fort, wenn das Ende a der Spirale mit zwei Fuß langen Glas-, Metall- oder Holzstangen niedergedrückt wurde. Wandte man eine Metallstange an, so zeigte sich eine Abweichung der Magnetnadel, wenn die Hand an das untere Ende der Metallstange, nahe dem Orte, wo sie den Kupferstreifen berührte, gelegt wurde und wenn sie dort einige Zeit verweilte.

Nach diesen Erfahrungen mußte sich der Gedanke aufdrängen, daß nur die Wärme, die sich von der Hand dem einen Berührungspunkte der Metalle mittheilt, die Ursache der Wirkung dieser Kette sein möchte. Demnach war zu erwarten, daß ein höherer Temperaturgrad als derjenige, der dem Metall von der Hand mitgeteilt werden konnte, auch eine beträchtlichere Wirkung hervorrufen werde. Der folgende Versuch bestätigte dies.

Eine Wismuttscheibe wurde mit den beiden Enden a und

b der Kupferspirale (Abb. 15) in Berührung gebracht. Unter die geschlossene Kette wurde eine kalte und auf die Kette eine über einer Lampe erwärmte Kupferscheibe gelegt. Es erfolgte sogleich eine Abweichung der Nadel, und zwar eine viel lebhaftere als bei den früheren Versuchen. Die Magnetnadel machte eine Bewegung von 50—60 Grad und blieb bei 17 Grad Abweichung stehen.

Wurde bei dem gleichen Versuch eine Scheibe von Antimon gewählt, so zeigte sich gleichfalls eine stärkere Abweichung als vorher. Werden Stäbe von Wismut oder von Antimon an dem einen Ende erwärmt und mit der Spirale oder dem einfachen Metallbogen verbunden, so

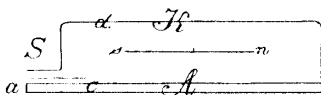
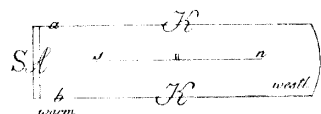
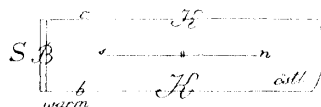


Abb. 15. Thermoelektrische Versuche mit Antimon und Wismut.

zeigen sie das gleiche Verhalten wie die Metallscheiben. Die Abweichung der Magnetnadel ist, wenn der Stab sich im Süden und die Nadel sich im Norden befindet (Abb. 15 oben) beim Wismut östlich, wenn das warme Ende des Stabes (B) unten und westlich, wenn das warme Ende nach oben gerichtet ist. Beim Antimon dagegen (Abb. 15 Mitte) ist die Abweichung im ersten Falle westlich und im zweiten öst-

lich. In den Abbildungen bezeichnet A den Antimonstab, B den Wismutstab und K das Kupfer.

Die Abweichungen der Magnetnadel sind immer entgegengesetzt, wenn man die Nadel aus ihrer Lage innerhalb des Kreises entfernt und sie oberhalb oder unterhalb des geschlossenen Kreises anbringt.

Wird eine Wismut- oder Antimonstange genau in der Mitte erwärmt, so findet beim Anlegen der Spiralenden an die Enden der Stange keine Abweichung der Nadel statt.

Aus diesen Versuchen geht hervor, daß die erste und wichtigste Bedingung, um eine Ablenkung der Magnet-

nadel ¹⁾ hervorzurufen, ein Temperaturunterschied an den beiden Berührungspunkten ist. Abkühlung eines der beiden Berührungspunkte wirkt ebenso wie eine Erwärmung. Dies bewies der folgende Versuch. Eine 15 Zoll lange Wismutstange wurde an dem einen Ende in einer Mischung von Eis und Salz abgekühlt, während das andere Ende seine anfängliche Temperatur so ziemlich behielt. Eine solche Stange verhielt sich in Verbindung mit der Kupferspirale ganz so, als ob der Temperaturunterschied der Enden der Stange durch Erwärmen des einen Endes bewirkt worden wäre. Befand sich das kalte Ende oben, so war die Abweichung der Magnetnadel östlich, befand es sich unten, so wich der Nordpol der Nadel nach Westen ab.

Die Wirkung dieser metallischen Ketten ist um so stärker, je größer der Temperaturunterschied an den beiden Berührungspunkten ist. Wenn jene Wirkung auch nicht in allen Fällen bei der Erhöhung der Temperatur gleichförmig steigt und Metallegierungen manche Ausnahmen machen, so scheint dies Gesetz doch für die meisten Metallkombinationen und namentlich für die reinen Metalle gültig zu sein ²⁾. Wie die Erwärmung geschieht, ob über einer Lampe oder auf einem Bolzen oder vermittels eines Brennglases, ist gleichgültig.

Wird ein Blatt Papier zwischen die beiden Metalle am kalten Berührungspunkte geschoben, z. B. zwischen Antimon und Kupfer bei a (s. Abb. 15 unten), während der Berührungspunkt b mit einer Weingeistlampe erwärmt wird, so zeigt sich keine Wirkung auf die Magnetnadel. Eine starke Bedeckung der Metalle mit Oxyd an den Berührungspunkten hebt gleichfalls die Wirkung auf; ein geringer Anflug von Oxyd schwächt sie nur. Unmittelbare Berührung der Metalle ist also eine zweite wesentliche Bedingung, um einen thermoelektrischen Strom hervorzurufen.

¹⁾ Die Ablenkung läßt das Auftreten eines elektrischen Stromes, des sogenannten Thermostroms, erkennen.

²⁾ Die thermoelektrische Wirkung wird aus der größeren oder geringeren Ablenkung der Magnetnadel beurteilt. Ein klarer Begriff für die Stromstärke fehlte dem Entdecker der Thermoelektrizität noch.

Je vollkommener die Verbindung der beiden Metalle ist, desto stärker ist die Wirkung. Apparate, in denen Stäbe von Wismut und Antimon durch Schmelzung mit Streifen von Kupferblech verbunden sind, bewirken bei gleicher Erhöhung oder Erniedrigung der Temperatur eine stärkere Ablenkung der Nadel als solche, in denen die Metalle sich nur äußerlich berühren."

Die so entstandene Vorrichtung hat man als Thermoelement bezeichnet. Durch Vereinigung einer Anzahl von Thermoelementen konstruierte schon Seebeck eine thermoelektrische Säule. Seitdem sind viele Thermosäulen konstruiert worden. Am bekanntesten ist diejenige von Güldner, die man wohl zum Laden von Akkumulatoren benutzt. Güldners Thermosäule besteht aus etwa 60 aus Antimon und Kupfer gefertigten Elementen. Sie besitzt eine elektromotorische Kraft von 4 Volt und verbraucht 170 Liter Gas in der Stunde. Zur Erzeugung starker Ströme haben sich die erfundenen thermoelektrischen Säulen nicht brauchbar erwiesen. Sie haben vor den galvanischen Elementen die bequemere Handhabung und eine größere Beständigkeit voraus. Man hat die Thermosäule auch zum Nachweise geringer Temperaturunterschiede benutzt.

XII. Die Entdeckung der galvanischen und der magnetischen Induktion.

Der großartige Aufschwung der Elektrotechnik, den unser Zeitalter erlebte, knüpfte an Faradays Erforschung der Induktionserscheinungen an.

Michael Faraday (1791—1867) wurde in der Nähe von London geboren. Er arbeitete sich vom Buchbinderlehrling zu einem der ersten Entdecker und Erfinder des 19. Jahrhunderts empor. Im Jahre 1832 begannen seine Untersuchungen über die Induktion. Die folgenden Abschnitte sind Faradays Bericht über diese Arbeiten entnommen ¹⁾).

1. Die galvanische Induktion.

„Ein Kupferdraht von mehreren hundert Fuß Länge wurde um eine große Walze von Holz gewickelt. Zwischen seinen Windungen wurde, indes durch Zwirnsfäden an jeder unmittelbaren Berührung gehindert, ein zweiter ähnlicher Draht von gleicher Länge angebracht. Der eine dieser Schraubendrahte wurde mit dem Galvanometer, der andere mit einer Batterie von 100 Plattenpaaren verbunden. Im Augenblicke der Verbindung des Drahtes mit der Batterie war eine plötzliche, aber sehr geringe Wirkung auf das Galvanometer sichtbar, und eine ähnliche schwache Wirkung zeigte sich, als diese Verbindung aufgehoben wurde. Solange indes der elektrische Strom fortfuhr, durch den einen Schraubendraht zu gehen, konnte keine Spur irgend-einer Wirkung bemerkt werden, obschon die Batterie sehr kräftig war, wie aus der Erhitzung des ganzen Schraubendrahtes und aus den glänzenden Funken bei der Entladung mittels Kohlenspitzen hervorging.

¹⁾ Faraday, Experimental researches in electricity. 3 Bde. London 1839—55. Bezüglich der wichtigsten Abhandlungen sei auf Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Bd. 81, 86, 87, 126, 128, 131, 134, 136, 140 verwiesen.

Die Wiederholung dieses Versuches mit einer Batterie von 120 Plattenpaaren gab keine anderen Resultate. Allein es zeigte sich hier, wie schon früher, daß die Ablenkung der Nadel im Augenblicke des Schließens von entgegengesetzter Richtung ist, wie die ähnliche, schwache Ablenkung beim Öffnen der Kette.

Die Ergebnisse, die ich späterhin mit Magneten erhielt, haben mich zu der Ansicht geführt, daß der Volta'sche Strom, der durch den einen Draht geht, wirklich in dem zweiten Draht einen ähnlichen Strom erregt, der aber nur von augenblicklicher Dauer ist und seiner Natur nach mehr Ähnlichkeit hat mit der elektrischen Welle, die beim Entladen einer Leydener Flasche auftritt, als mit dem Strom einer Volta'schen Batterie; deshalb vermutete ich auch, daß jener Strom, obgleich er kaum auf das Galvanometer wirkt, dennoch Stahlnadeln zu magnetisieren vermöge.

Diese Vermutung bestätigte sich. Als nämlich anstatt des Galvanometers ein um eine Glasröhre gewundener, kleiner Schraubendraht genommen, in die Glasröhre eine Stahlnadel gesteckt, darauf der induzierende Draht wie früher mit der Batterie verbunden und nun, vor der Aufhebung dieser Verbindung, die Nadel fortgezogen wurde, erwies sie sich magnetisch.

Wurde die Verbindung mit der Batterie zuerst vollzogen, dann eine unmagnetische Nadel in den kleinen Schraubendraht gesteckt, und nun die Verbindung wieder aufgehoben, so hatte die Nadel einen, wie es schien, ebenso starken Magnetismus wie zuvor erhalten, aber ihre Pole lagen jetzt umgekehrt.

Als die unmagnetische Nadel vor dem Verbinden des induzierenden Drahtes mit der Batterie in den kleinen Schraubendraht gesteckt und bis nach der Aufhebung jener Verbindung darin gelassen wurde, besaß sie wenig oder keinen Magnetismus, da die erste Wirkung durch die zweite fast vernichtet worden war.

Bei den vorhergehenden Versuchen waren die Drähte nahe beieinander befestigt, und wenn man die Wirkung haben wollte, wurde der induzierende Draht mit der Batterie in Verbindung gesetzt. Jetzt wurde die Induktion auf einem anderen Wege bewerkstelligt. Ein Kupferdraht

wurde in weiten Zickzack-Windungen, ähnlich einem W, auf der einen Seite eines Brettes ausgespannt und ebenso ein zweiter Draht auf einem anderen Brette befestigt; ferner wurde der eine dieser Drähte mit dem Galvanometer und der andere mit der Voltaschen Batterie verbunden. Als nun das erste Brett mit seinem Drahte dem zweiten rasch genähert wurde, wich die Nadel ab, ebenso auch beim Wegziehen, indes nach der entgegengesetzten Seite. Gesah das Nähern und Entfernen der Bretter in Übereinstimmung mit den Schwingungen der Magnetnadel, so wurden diese sehr groß; hörte man aber mit dem Hin- und Herführen des Drahtes auf, so kehrte die Nadel auch bald in ihre gewöhnliche Lage zurück.

Bei gegenseitiger Annäherung der Drähte war der induzierte Strom von entgegengesetzter Richtung mit dem induzierenden Strom. Bei der Entfernung der Drähte voneinander hatten beide Ströme dagegen gleiche Richtung. Blieben die Drähte in unverändertem Abstände zueinander, so war kein induzierter Strom vorhanden.

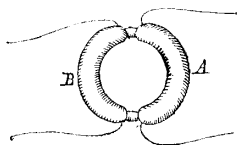


Abb. 16. Saradans Versuch zum Nachweise der Induktion.

2. Elektrizitätserregung durch Magnetismus (Magnetinduktion).

Aus einer runden Stange weichen Eisens von $\frac{7}{8}$ Zoll Dicke wurde ein Ring von 6 Zoll äußerem Durchmesser geschmiedet. Ein 9 Zoll langes Stück dieses Ringes wurde mit drei Kupferdrähten, jeder von 24 Fuß Länge und $\frac{1}{20}$ Zoll Dicke, umwickelt, so daß die Drahtlagen unter sich und von dem Eisen isoliert waren. Das System dieser Drähte, die einzeln wie verbunden angewandt werden konnten, ist in Abb. 16 mit A bezeichnet. B bedeutet ein zweites, in gleicher Richtung wie A gewickeltes System von Drahtwindungen, das an beiden Enden von A durch eine unbedeckte Strecke Eisen von $\frac{1}{2}$ Zoll Länge geschieden ist.

Die Spirale B wurde durch Kupferdrähte mit einem 3 Fuß vom Ringe entfernten Galvanometer verbunden, und die Drähte A, mit ihren Enden zu einem einzigen

Schraubendraht verknüpft, mit einer Batterie von 10 Plattenpaaren in Verbindung gesetzt. Augenblicklich zeigte sich eine Wirkung auf das Galvanometer, und zwar eine bei weitem stärkere als zuvor, als eine zehnmal stärkere Batterie ohne Mitwirkung von Eisen angewandt worden war. Allein obgleich die Batterie geschlossen blieb, war die Wirkung doch nicht dauernd; bald kehrte die Nadel in ihre natürliche Lage zurück. Beim Öffnen der Kette wurde die Nadel indes wieder mächtig abgelenkt, und zwar nach der entgegengesetzten Seite wie zuvor.

Die Ablenkung beim Schließen zeigte immer einen induzierten Strom an, der dem der Batterie entgegengesetzt gerichtet war; beim Öffnen der Kette hatte dagegen der induzierte Strom immer die gleiche Richtung mit dem Strom der Batterie.

Es wurde nun eine derartige Einrichtung getroffen, daß sich die früheren Versuche über Induktion durch Volta'sche Ströme mit den soeben beschriebenen verknüpfen ließen. Zu dem Ende wurde ein hohler Pappzylinder mit acht isolierten Schraubendrahten umwickelt; vier derselben wurden, Ende an Ende geknüpft, mit dem Galvanometer verbunden, die vier dazwischen befindlichen wurden aber, nachdem sie ebenfalls mit ihren Enden vereint waren, zur Schließung der Batterie von 100 Plattenpaaren benutzt. Mit dieser Vorrichtung war die Wirkung auf das Galvanometer kaum merklich, doch konnten mit dem induzierten Strom Stahlnadeln magnetisiert werden. Als aber ein $\frac{7}{8}$ Zoll dicker und 12 Zoll langer Zylinder von weichem Eisen in die mit den Schraubendrahten umwickelte Papp-
röhre gesteckt wurde, wirkte der induzierte Strom mächtig und mit all den schon beschriebenen Erscheinungen auf das Galvanometer ein, auch besaß er das Vermögen, Stahl zu magnetisieren, augenscheinlich in noch höherem Grade, als wenn kein Eisenzylinder zugegen gewesen wäre.

Wurde statt des Eisenstabes ein gleicher Stab von Kupfer genommen, so zeigte sich keine Wirkung, die nicht schon die Schraubendrahte für sich allein ausgeübt hätten.

Ähnliche Wirkungen wurden nun auch durch gewöhnliche Magnetstäbe hervorgebracht. Es wurden nämlich die auf der Papp-
röhre befindlichen acht Schraubendrahte, nach-

dem sie zu einem einzigen Drahte verknüpft worden waren, durch zwei Kupferdrähte von 5 Fuß Länge mit dem Galvanometer verbunden, alsdann wurde in die Achse der Röhre ein Zylinder von weichem Eisen gesteckt. Darauf wurden zwei Magnetstäbe, von denen jeder 24 Zoll lang war, mit ihren entgegengesetzten Polen verbunden und mit den anderen beiden Polen auf die Enden des Eisenzylinders gelegt, so daß dieser zu einem Magneten werden mußte (s. Abb. 17).

Durch Fortnahme oder Umkehrung der Magnetstäbe konnte der Magnetismus des Eisenzylinders nach Belieben aufgehoben oder umgekehrt werden. Bei dem Auflegen der Magnetstäbe auf den Eisenzylinder wich die Nadel ab, bei fortdauernder Berührung desselben aber kehrte sie in ihre anfängliche Lage zurück; bei der Aufhebung des Kontaktes wurde sie abermals abgelenkt, aber nach der entgegen-



Abb. 17. Saradans Nachweis der Magnetinduktion.

gesetzten Seite wie zuvor. Dann nahm sie wieder die ursprüngliche Lage an.

Da man vielleicht glauben könnte, daß der in den vorhergehenden Versuchen erregte momentane Strom durch eine besondere, bei der Entstehung des Magneten stattfindende Wirkung und nicht durch die bloße Annäherung hervorgebracht worden sei, so wurde der folgende Versuch angestellt. Die acht Schraubendrähte wurden in leitende Verbindung gesetzt, und die so entstandenen zwei Hauptenden mit dem Galvanometer verknüpft. Der weiche Eisenstab wurde entfernt und statt dessen ein zylindrischer Magnetstab von $\frac{3}{4}$ Zoll Durchmesser und $8\frac{1}{2}$ Zoll Länge angewandt. Dieser Magnet wurde in die Achse des Schraubendrahtes eingestellt und, nachdem die Galvanometernadel zur Ruhe gekommen war, plötzlich hineingeschoben. Augenblicklich wich die Nadel ab, und zwar in gleicher Richtung, als wenn der Magnet durch eins der vorhergehenden Verfahren erst gebildet worden wäre.

Blieb der Magnet darin, so nahm die Nadel wiederum ihre erste Stelle ein, wurde er herausgezogen, so wich sie nach entgegengesetzter Richtung ab. Die Ablenkungen waren nicht groß, indes konnte die Nadel durch ein in Übereinstimmung mit ihren Bewegungen wiederholtes Hineinstecken und Herausziehen des Magneten zuletzt zu Schwingungen von 180 Grad gebracht werden.“

Die Entdeckung der Magnetinduktion führte zur Konstruktion der ersten magnetelektrischen Maschine (Abb. 18). Sie besaß die

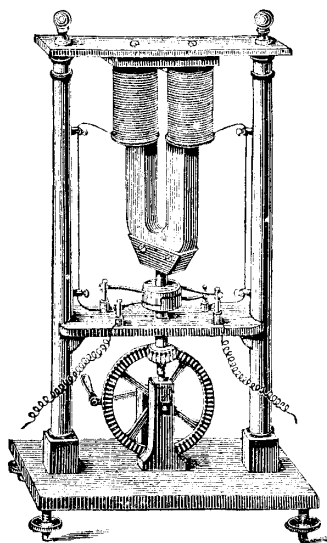


Abb. 18. Die erste magnetelektrische Maschine.

Einrichtung, daß der Magnet, den Saraday mit der Hand in der Nähe eines Drahtes hin und her bewegt hatte, durch ein Drehwerk in rasche Rotation versetzt wurde. Die Induktionsspirale (siehe den oberen Teil der Abbildung) blieb in Ruhe. Sie bestand aus zwei Teilen, die über ein hufeisenförmiges Eisenstück gesteckt waren. Die Induktionsströme wurden dadurch erzeugt, daß sich die Pole des rotierenden Magneten der Induktionsspule abwechselnd näherten und sich davon entfernten. Durch die Wirkung des Magneten auf das hufeisenförmige Eisenstück wurden die Induktionsströme verstärkt. Unter dem Magneten befand sich das Drehwerk (s. Abb. 18) und ein Kommutator, eine Vorrichtung, welche die den Spulen entnommenen Induktionsströme in einen gleichgerichteten Strom verwandelt. Später gab

man der magnetelektrischen Maschine die Einrichtung, daß man den Magneten befestigte und die mit Eisenkernen versehenen Spulen (Abb. 19 R R) in Drehung versetzte.

Die große Bedeutung der magnetelektrischen Maschine beruht darauf, daß sie ein Mittel bietet, um mechanische Arbeit, wie sie eine Windmühle, ein Wasserrad oder eine Dampfmaschine liefert, unmittelbar in elektrischen Strom zu verwandeln. Der nächste Schritt bestand darin, daß man den gewöhnlichen Stahlmagneten durch einen Elektromagneten ersetzte. Man erhielt jetzt zwar viel

kräftigere Ströme, doch erforderte der Betrieb einer derartigen Maschine neben der mechanischen Energie eine zur Erregung des Elektromagneten dienende Batterie von galvanischen Elementen.

Die Aufgabe, lediglich durch mechanische Mittel die kräftigsten elektrischen Ströme zu erzeugen, löste Werner Siemens. Wie er auf sein dynamoelektrisches Prinzip gekommen ist, wollen wir ihn hier selbst schildern lassen ¹⁾:

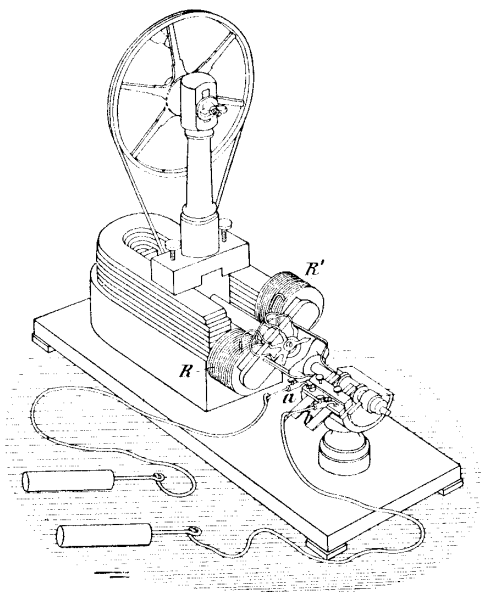


Abb. 19. Die magnetelektrische Maschine mit rotirender Spule.

„Wird eine elektromagnetische Maschine durch eine äußere Arbeitskraft gedreht, so wird der Strom der galvanischen Batterie durch die ihm gleich gerichteten induzierten Ströme verstärkt. Da diese Verstärkung des galvanischen Stromes auch eine Verstärkung des Magnetismus des Elektromagneten, mithin auch eine Verstärkung des folgenden induzierten Stromes hervorbringt, so wächst der Strom in rascher Progression bis zu einer solchen Höhe, daß man

¹⁾ Berichte der Königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Januar 1867.

die Batterie ganz ausschalten kann, ohne eine Verminderung des Stromes wahrzunehmen. Unterbricht man die Drehung, so verschwindet natürlich auch der Strom, und der feststehende Elektromagnet verliert seinen Magnetismus. Der geringe Grad von Magnetismus, der auch im weichsten Eisen zurückbleibt, genügt aber, um bei wiedereintretender Drehung das progressive Anwachsen des Stromes von neuem einzuleiten. Es bedarf daher nur eines einmaligen kurzen Stromes einer galvanischen Batterie durch die Windungen des festen Elektromagnets, um den Apparat für alle Zeiten leistungsfähig zu machen."

In diesen Worten sprach Siemens ein Prinzip aus, das für die weitere Entwicklung der Elektrotechnik von der allergrößten Bedeutung werden sollte. Siemens war sich der Tragweite seiner Entdeckung voll bewußt. Nach einigen Worten über ihre Einzelheiten schließt er seine Abhandlung wie folgt:

"Mit Hilfe einer solchen Maschine kann man, wenn die Verhältnisse der einzelnen Teile richtig bestimmt sind, Ströme von solcher Stärke erzeugen, daß die Umwindungsdrähte der Elektromagnete durch sie in kurzer Zeit bis zu einer Temperatur erwärmt werden, bei welcher die Umspinnung der Drähte verkohlt. Bei anhaltender Benutzung der Maschine muß diese Gefahr durch Einschalten von Widerständen oder durch Mäßigung der Drehungsgeschwindigkeit vermieden werden.

Die Leistung einer magnetelektrischen Maschine nimmt nicht im gleichen Verhältnis mit der Vergrößerung der Dimensionen zu. Es hat dies darin seinen Grund, daß die Kraft der Stahlmagnete in weit geringerem Verhältnis zunimmt als die Masse des zu ihrer Herstellung verwendeten Stahles. Magnetelektrische Maschinen mit Stahlmagneten sind daher nicht geeignet, wo es sich um die Erzeugung sehr starker, andauernder Ströme handelt. Man hat es zwar schon mehrfach versucht, kräftige magnetelektrische Maschinen herzustellen, und auch so kräftige Ströme mit ihnen erzeugt, daß sie ein intensives elektrisches Licht gaben, doch mußten diese Maschinen kolossale Dimensionen erhalten, wodurch sie sehr teuer wurden. Die Stahlmagnete verloren ferner bald den größten Teil ihres Magnetismus und die Maschine infolgedessen ihre anfängliche Kraft.

Mit der von mir beschriebenen elektrodynamischen Maschine sind dagegen der Technik die Mittel gegeben, elektrische Ströme von unbegrenzter Stärke und auf billige und bequeme Weise überall da zu erzeugen, wo billige Arbeitskraft zu Gebote steht."

Das dynamoelektrische Prinzip wird durch die nebenstehende Abbildung 20 einer Dynamomaschine erläutert. Der in dem Magneten M nach der Außerbetriebsetzung zurückbleibende (remanente) Magnetismus erregt in den Windungen des rotierenden Ankers R einen schwachen Induktionsstrom. Dieser wird zunächst in vielen Windungen um den Magneten geführt und verstärkt den Magnetismus. Infolgedessen wird auch der Induktionsstrom stärker, und diese Wechselwirkung steigert sich so lange, bis die Maschine das Höchstmaß ihrer Leistungsfähigkeit erreicht hat.

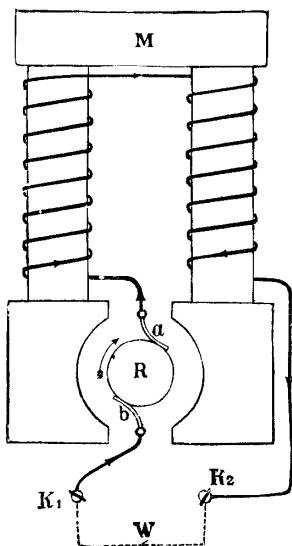


Abb. 20. Erläuterung des dynamoelektrischen Prinzips.

XIII. Akustische Wirkungen der Elektrizität.

Die erste Beobachtung, die einen Zusammenhang zwischen akustischen und elektrischen Vorgängen erkennen läßt, wurde 1837 gemacht. Man entdeckte, daß das Aufhören und Entstehen eines Stromes einen Eisenstab, der vom Strom in einer Drahtspule umflossen wird, zum Tönen bringt. Die Erscheinung wurde als „galvanische Musik“ bezeichnet. Ihre Entdeckung regte zu Versuchen an, Töne mit Hilfe der Elektrizität auf größere Entfernungen zu übertragen. Die ersten Erfolge erzielte Reis. Er verband eine

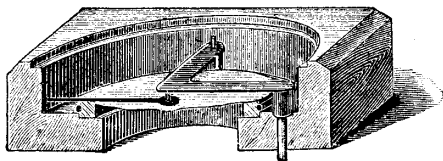


Abb. 21. Der Sprecher (Resonanzboden) des von Reis konstruierten Telephons.

Membran, gegen die gesprochen wurde, mit einem Platinblech (Abb. 21). Auf diese Weise wurde durch die Schwingungen der Membran ein galvanischer Strom abwechselnd geöffnet und ge-

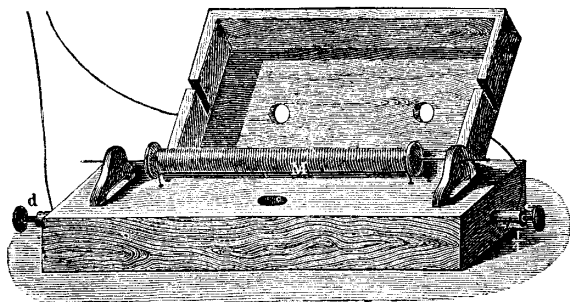


Abb. 22. Der von Reis konstruierte Empfänger.

schlossen. Die erzeugten elektrischen Impulse wirkten auf den Eisenstab, der sich (Abb. 22 M) im Innern einer Drahtspule befand. Die schwingende Membran und der von einer Drahtspule umgebene Eisenstab bildeten auch die Hauptteile des von Graham Bell erfundenen Telephons. Wie bei der Dynamomaschine, so beruht auch diese wichtige Anwendung der Elektrizität auf dem im vorhergehenden Abschnitt behandelten Prinzip der Induktion.

XIV. Faraday entdeckt eine Wirkung des Magnetismus und der Elektrizität auf das Licht und gewinnt damit die experimentelle Grundlage für eine elektromagnetische Theorie des Lichtes.

Faraday war stets von dem Bestreben erfüllt, wie auf den Gebieten des Galvanismus und der chemischen Aktion, neue Beziehungen zwischen den Kräften aufzudecken. Aus der Überzeugung, daß solche Beziehungen auch zwischen der Elektrizität und dem Lichte bestehen, entsprang einer seiner berühmtesten Versuche, den wir ihn in nachstehendem mit eigenen Worten schildern lassen wollen ¹⁾:

A. Die Wirkung der Magnete auf das Licht.

„Seit langer Zeit habe ich die an Überzeugung grenzende Meinung gehegt, daß die verschiedenen Formen, unter denen die Kräfte der Materie auftreten, einen gemeinschaftlichen Ursprung haben oder, mit anderen Worten, so in unmittelbarem Zusammenhange und in gegenseitiger Abhängigkeit stehen, daß sie gleichsam ineinander verwandelt werden können.

Frühere vergebliche Anstrengungen konnten diese feste Überzeugung nicht erschüttern; deshalb nahm ich neuerdings die experimentelle Untersuchung dieser Frage in der eifrigsten Weise wieder vor, wobei es mir dann endlich gelang, einen Lichtstrahl zu magnetisieren und zu elektrifizieren. Ohne in die Einzelheiten vieler erfolgloser Versuche einzugehen, will ich die Ergebnisse so kurz und deutlich beschreiben, wie ich kann.

Zuvor will ich jedoch angeben, welchen Sinn ich mit gewissen Worten verbinde, die ich häufiger gebrauchen werde. Unter Magnetkraftlinie oder magnetischer Kraftlinie verstehe ich diejenige Äußerung der magnetischen

¹⁾ XIX. Reihe von Faradays Experimentaluntersuchungen. Siehe auch Ostwalds Klassiker Bd. 136.

Kraft, welche in den Linien ausgeübt wird, die auch wohl magnetische Kurven genannt werden, Linien, die sowohl Magnetpole verbinden als auch bei einem elektrischen Strom konzentrische Kreise bilden. Unter elektrischer Kraftlinie verstehe ich die Kraft, die in Linien ausgeübt wird, welche zwei nach dem Prinzip der elektrischen Verteilung aufeinanderwirkende Körper verbinden. Diamagnetika nenne ich Körper, die von Magnetkraftlinien durchschnitten werden, ohne dadurch den gewöhnlichen magnetischen Zustand von Eisen oder Magneteisenstein anzunehmen.

Das Licht einer Lampe wurde durch Reflexion an einer Glasfläche polarisiert und dann durch ein Nikolsches Prisma geleitet, das zur leichteren Untersuchung des Lichtes um eine horizontale Achse drehbar war. Zwischen dem polarisierenden Spiegel und dem Nikol wurden zwei kräftige Elektromagnetpole angebracht, entweder die Pole eines Hufeisenmagnets oder die entgegengesetzten Pole zweier zylindrischen Magnete. Sie befanden sich entweder beide auf einer Seite des polarisierten Strahls, dicht neben ihm oder zu beiden Seiten des Strahles, so daß dieser zwischen ihnen hindurchging und ganz oder nahezu die Richtung der Magnetkraftlinie hatte. Es mußte also eine zwischen die beiden Pole gebrachte, durchsichtige Substanz zugleich den polarisierten Lichtstrahl und die Magnetkraftlinien in derselben Richtung durch sich hindurchlassen.

Vor längerer Zeit machte ich Versuche über ein optisches Glas bekannt und beschrieb dabei die Darstellung und die Eigenschaften eines schweren Glases, das wegen seiner Bestandteile kieselborsaures Bleioxyd genannt wurde. Dieses Glas war es, das mich zuerst auf die Entdeckung des Zusammenhanges zwischen Licht und Magnetismus führte; es ist für diesen Nachweis geeigneter als alle anderen Körper. Der Deutlichkeit wegen will ich zunächst die Erscheinungen beschreiben, wie sie sich bei diesem Glase darbieten.

Ein Stück des letzteren, von etwa 2 Zoll Länge und $\frac{1}{2}$ Zoll Dicke, mit ebenen und polierten Endflächen, wurde als diamagnetische Substanz so zwischen die noch nicht durch den elektrischen Strom magnetisierten Pole gebracht, daß der polarisierte Strahl es der Länge nach durchlaufen mußte. Das Glas wirkte, wie Luft, Wasser oder irgendeine

andere indifferente Substanz wirken würde. Wenn der Nifol zuvor in solche Lage gedreht war, daß der polarisierte Strahl ausgelöscht, oder vielmehr das von ihm erzeugte Bild unsichtbar gemacht wurde, so brachte die Einschaltung des Glases in dieser Beziehung keine Änderung hervor. Unter den angegebenen Umständen wurde die Kraft des Elektromagnets erregt, indem man durch sein Drahtgewinde einen elektrischen Strom sandte. In demselben Augenblick wurde das Bild der Flamme sichtbar, und zwar so lange, wie der Strom unterhalten wurde. Als man den Strom unterbrach, die magnetische Kraft also verschwinden ließ, verschwand auch das Licht sofort. Diese Erscheinung konnte nach Belieben in jedem Augenblick erneut werden, und jedesmal zeigte sich eine vollkommene Abhängigkeit zwischen Ursache und Wirkung.

Die auf das Glas ausgeübte Kraft äußert sich als eine Drehung der Polarisationssebene. Wenn nämlich das Bild der Flamme sichtbar geworden ist, wird eine mehr oder minder starke Drehung des Nifols nach der Rechten oder Linken das Bild auslöschen, und eine weitere Drehung nach der einen oder anderen Richtung wird es wieder zum Vorschein bringen, und zwar mit komplementären Farben, je nachdem rechts oder links gedreht wurde.

Dieselben Erscheinungen zeigten sich beim kieselborsauren Bleioryd, ohne Anwendung eines elektrischen Stromes, durch die Wirkung eines guten, hufeisenförmigen Stahlmagneten. Die Ergebnisse waren schwach, doch noch hinreichend, um in der Wirkung auf das Licht die volle Übereinstimmung zwischen einem Elektromagneten und einem gewöhnlichen Magneten darzutun.

Die Drehung des polarisierten Lichtstrahls wächst mit der Stärke der Magnetkraftlinien. Dies läßt sich bei Anwendung von Elektromagneten leicht nachweisen. Innerhalb des von mir angewandten Kraftbereichs scheint die Drehung direkt der Intensität der Magnetkraft proportional zu sein.

Außer dem schweren Glase besitzen andere Körper ebenfalls das Vermögen, unter dem Einfluß der magnetischen Kraft auf das Licht zu wirken. Wenn die Körper schon an sich ein Drehvermögen besitzen, wie z. B. Terpentin-

öl, Zucker, Weinsäure, weinsaure Salze usw., so ist die Wirkung der magnetischen Kraft zu ihrer eigenen Kraft hinzuzufügen oder von ihr abzuziehen, je nachdem die natürliche Drehung und die durch den Magnetismus erregte gleich oder entgegengesetzt sind. Diese Kraft des Magnetismus auf das Licht zeigen nicht nur das kieselborsaure Bleioxyd, sondern auch viele andere Substanzen. Doch gewahren wir, daß wenn auch alle durchsichtigen Körper diese Kraft äußern, sie es doch in sehr verschiedenem Grade tun.

Serner macht sich bemerkbar, daß Körper, die in chemischer und physikalischer Hinsicht ungemein verschieden sind, diese Kraft besitzen, denn sie findet sich bei starren und flüssigen Körpern, bei Säuren, Alkalien, Ölen, Wasser, Alkohol, Äther usw.

Zuletzt sei noch bemerkt, daß in allen die Kraft, wenn auch dem Grade nach verschieden, doch der Art nach immer dieselbe ist, daß sie nämlich eine Drehung des Lichtstrahles hervorruft ¹⁾).

B. Die Wirkung elektrischer Ströme auf das Licht.

Aus der Betrachtung der Natur und der Lage der Linien magnetischer und elektrischer Kraft, sowie der Beziehung eines Magneten zu einem elektrischen Strom folgte fast mit Bestimmtheit, daß ein elektrischer Strom dieselbe Wirkung wie ein Magnet auf das Licht haben würde und in Gestalt eines Schraubendrahtes am geeignetsten sein müßte, sehr lange diamagnetische Körper, besonders wenn sie zwischen den Magnetpolen nur wenig beeinflußt zu werden scheinen, einer Untersuchung zu unterwerfen.

Starre Körper ließen sich leicht der Wirkung solcher Drahtgewinde aussetzen, indem man sie zu Stäben oder Prismen mit ebenen und polierten Enden formte, und dann als Kerne in die Rollen steckte. Um Flüssigkeiten

¹⁾ Bei der Untersuchung von Gasen erhielt Saraday negative Resultate, doch hat später Kundt nachgewiesen, daß in allen Körpern, auch in Gasen, eine Drehung erhalten wird. (Berlin. Akad. Sitz. 34 u. 48, 1884 u. 1885.)

ihrer Wirkung zu unterwerfen, wurden Glasröhren mit Kappen an den Enden angeschafft. Der zylindrische Teil der Kappe war von Messing und hatte einen Ansatz zur Einfüllung der Flüssigkeit. Die Enden bestanden aus ebenen Glasplatten.

Das mit diesem Apparat erhaltene Ergebnis war im allgemeinen folgendes: die Röhre in der langen Drahtspule wurde mit destilliertem Wasser gefüllt und in die Richtung des polarisierten Strahls gebracht, so daß das vom polarisierten Strahl erzeugte Bild der Flamme durch die Röhre gesehen und mit dem Nikol untersucht werden konnte. Dann wurde der Nikol gedreht, bis das Bild verschwand; nun sandte man den Strom durch die Spule. Augenblicklich erschien das Bild der Flamme wieder und blieb sichtbar, solange der Strom die Spule durchlief. Unterbrach man den Strom, so verschwand das Bild. Wurde die Richtung des Stromes im Drahtgewinde umgekehrt, so kehrte sich auch die Drehung des Lichtstrahls um.

Das Gesetz, nach welchem ein elektrischer Strom auf einen Lichtstrahl wirkt, ist leicht ausgedrückt. Wird ein polarisierter Lichtstrahl in einer zu seiner Richtung winkligen Ebene von einem elektrischen Strom umkreist, so erfolgt eine Drehung des Strahls um seine Achse in gleicher Weise mit der Richtung des Stroms, und zwar so lange, als dieser seinen Einfluß ausübt.

Als ich eine mit Wasser gefüllte Röhre von gleicher Länge mit der Drahtrolle anwandte, sie aber so stellte, daß sie mit einem Ende mehr oder weniger aus der Rolle hervorragte, konnte ich bis zu einem gewissen Grade den Einfluß der Länge des Diamagnetikums ermitteln, wenn ich die Kraft der Drahtrolle und des Stromes ungeändert ließ. Je länger nämlich die der Wirkung des Drahtgewindes ausgesetzte Wassersäule war, um so stärker war auch die Drehung des polarisierten Strahles. Der Betrag der Drehung schien direkt proportional der Länge der Flüssigkeit zu sein, die vom elektrischen Strom umkreist wurde.

Bringt man Körper in die Rolle, die schon von Natur ein Drehvermögen besitzen, so wird ihnen das vom elektrischen Strom erregte Drehvermögen hinzugefügt, genau

wie es schon bei der magnetischen Wirkung beschrieben wurde.

Durch diese Versuche ist, glaube ich, zum erstenmal eine direkte Beziehung und Abhängigkeit zwischen dem Licht und den magnetischen und elektrischen Kräften festgestellt und damit ein großer Fortschritt gemacht, bezüglich der Tatsachen und Betrachtungen, welche zu zeigen suchen, daß alle Naturkräfte miteinander verknüpft sind und einen gemeinschaftlichen Ursprung haben.

XV. Die Entdeckung von elektrischen Wellen und Strahlen elektrischer Kraft.

Die grundlegenden Untersuchungen auf diesem Gebiete rühren von Wheatstone und von Seddersen her. Wheatstone hatte beobachtet, daß die Entladung durch einen Funken eine gewisse Zeit beansprucht. Sein Verfahren bestand darin, daß er den Funken in einem rasch sich drehenden Spiegel beobachtete und aus der Länge des Bildes und der Tourenzahl des Spiegels die Dauer des Lichtfunkens ermittelte. Es ergab sich, daß die Dauer des Entladungsfunkens sich nur auf 0,000042 Sekunden beläuft.

Seddersen arbeitete nach dem gleichen Verfahren, das Millionstel von Sekunden zu messen gestattet. Er photographierte das in dem



Abb. 23. Seddersens Nachweis elektrischer Schwingungen.

rotierenden Spiegel zu einem Bande ausgezogene Bild des Funken und erkannte (Abb. 23), daß der Funken aus einer Reihe von Teilentladungen besteht, die allmählich schwächer werden. Die weitere Untersuchung ergab, daß die Entladung nicht etwa in eine Reihe gleichgerichteter Partialströme zerfällt, sondern in einem Hin- und Herfließen der Elektrizität, in Oszillationen, besteht.

Um die Dauer einer Oszillation zu bestimmen, ermittelte Seddersen die Ausdehnung des Streifenbandes (Abb. 23) und dividierte sie durch die Zahl der Streifen. So ergab sich beispielsweise in einem Falle die Dauer einer Oszillation bei der Entladung einer Batterie von Leydener Flaschen zu 0,00000304 Sekunden. Ließ Seddersen die Entladung durch einen längeren Draht vor sich gehen, so wurde die Oszillationsdauer größer.

Der weitere Ausbau des von Seddersen erschlossenen Gebietes erfolgte durch Herz. Herz stellte sich die Aufgabe, die auf den Versuchen Saradays (s. Abschnitt XIV) aufgebaute elektromagnetische Theorie des Lichtes durch weitere Versuche auf ihre Zulässigkeit zu prüfen. Vor allem wollte er feststellen, ob und wie sich die von

Seddersen untersuchten elektrischen Schwingungen durch den Raum fortpflanzen. Zu diesem Zwecke rief er unter Anwendung eines geeigneten Induktionsapparates Schwingungen hervor, die etwa hundertmal so rasch erfolgten wie diejenigen, die Seddersen beobachtet hatte.

Serner schuf Hertz ein Instrument, mit dem er den Raum in der Umgebung des die Schwingungen veranlassenden Apparats absuchte. Dieses von ihm als elektrischer Resonator bezeichnete Instrument ist nichts weiter als ein rechteckig gebogener Draht $a b c d$, der an einer Stelle M unterbrochen ist. Abb. 24 zeigt uns die von Hertz gewählte Versuchsanordnung. Dem induzierenden, in dem Induktor A erzeugten Strom gab er die Gestalt einer geraden

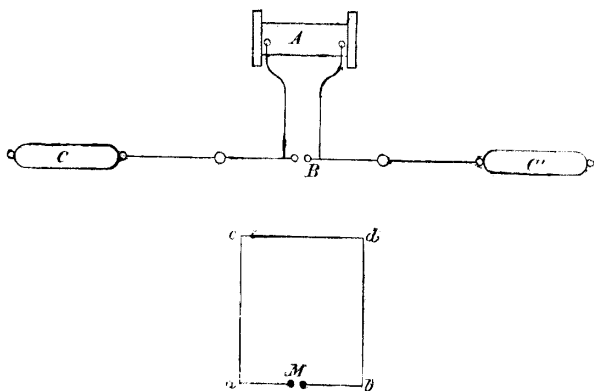


Abb. 24. Schema des von Hertz benutzten Resonators.

Linie. Ihre Enden werden durch die Konduktoren C und C' gebildet. Der Nachweis der elektrischen Wirkungen im Raume geschah mit Hilfe der feinen Funken, die unter gewissen Bedingungen an der Unterbrechungsstelle M des Resonators auftreten, wenn bei B eine oszillierende Entladung des primären Systems stattfindet. Über die allgemeineren Ergebnisse seiner Versuche berichtete Hertz im Jahre 1889 in einem Vortrage ¹⁾, dessen wichtigste Abschnitte wir hier folgen lassen:

„Die Behauptung, die ich vertreten möchte, sagt geradezu aus: Das Licht ist eine elektrische Erscheinung, das Licht an

¹⁾ Gehalten auf der 62. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte. Bonn 1889.

sich, alles Licht, das Licht der Sonne, das der Kerze, das eines Glühwurms. Nehmt aus der Welt die Elektrizität, und das Licht verschwindet; nehmt aus der Welt den lichttragenden Äther, und die elektrischen und magnetischen Kräfte können nicht mehr den Raum überschreiten. Dies ist meine Behauptung. Sie ist nicht von heute und gestern, sie hat schon eine längere Geschichte hinter sich. Ihre Geschichte gibt ihre Begründung. Eigene Versuche, welche sich auf diesen Gegenstand beziehen, bilden nur ein Glied in einer längeren Kette. Und von der Kette, nicht allein von dem einzelnen Gliede möchte ich erzählen.

Nicht leicht ist es freilich, von diesen Dingen zugleich verständlich und völlig zutreffend zu reden. Die Vorgänge, von denen wir handeln, haben ihren Tummelplatz im leeren Raum, im freien Äther. Diese Vorgänge sind an sich unfassbar für die Hand, unhörbar für das Ohr, unsichtbar für das Auge. Der inneren Anschauung, der begrifflichen Verknüpfung sind sie zugänglich, aber nur schwer der sinnlichen Beschreibung. Soviel wie möglich, will ich daher versuchen, an diejenigen Anschauungen und Vorstellungen anzuknüpfen, die wir schon besitzen.

Was ist denn das Licht? Seit dem Beginn des 19. Jahrhunderts wissen wir, daß es eine Wellenbewegung ist. Wir kennen die Geschwindigkeit der Wellen, wir kennen ihre Länge, wir wissen, daß es Transversalwellen sind. Die Wellentheorie des Lichtes ist, menschlich gesprochen, Gewißheit. Es ist also auch gewiß, daß aller Raum, von dem wir Kunde haben, nicht leer ist, sondern erfüllt mit einem Stoffe, der fähig ist, Wellen zu schlagen, dem Äther. Aber so bestimmt auch unsere Kenntnisse von den geometrischen Verhältnissen der Vorgänge in diesem Stoffe sind, so widerspruchsvoll sind unsere Annahmen über die Eigenschaften des Stoffes selbst. Naiv und unbefangen hatte man von vornherein die Wellen des Lichtes mit denen des Schalles verglichen und sie als elastische Wellen angesehen und behandelt. Nun sind aber elastische Wellen in Flüssigkeiten nur in Form von Longitudinalwellen bekannt. Elastische Transversalwellen in Flüssigkeiten sind nicht bekannt; sie sind nicht einmal möglich, ja sie widersprechen der Natur des flüssigen Zustandes. Man war also zu der

Behauptung gezwungen, der raumerfüllende Äther verhalte sich wie ein fester Körper. Betrachtete man dann aber den ungestörten Lauf der Gestirne, so war wiederum die Behauptung nicht zu umgehen, der Äther verhalte sich wie eine vollkommene Flüssigkeit. Nebeneinander bildeten beide Behauptungen einen für den Verstand schmerzhaften Widerspruch, welcher die schön entwickelte Optik entstellte. Suchen wir ihn nicht zu bemänteln, wenden wir uns vielmehr der Elektrizität zu; vielleicht daß ihre Erforschung uns zur Hebung auch dieser Schwierigkeit verhilft.

Was ist denn die Elektrizität? Das ist allerdings eine große Frage. Die meisten, welche sie stellen, zweifeln dabei nicht an der Existenz der Elektrizität an sich. In unserer Vorstellung spielt sicherlich die stofflich gedachte Elektrizität eine große Rolle. Und in der Redeweise vollends herrschen heutzutage noch unumschränkt die althergebrachten, allen geläufigen, uns gewissermaßen lieb gewordenen Vorstellungen von den beiden sich anziehenden und abstoßenden Elektrizitäten, die mit ihren Fernwirkungen wie mit geistigen Eigenschaften begabt sind. Die Zeit, in der man diese Vorstellungen ausbildete, war die Zeit, in welcher das Newtonsche Gravitationsgesetz seine schönsten Triumphe feierte, die Vorstellung der unvermittelten Fernwirkungen war den Geistern geläufig. Die elektrischen und magnetischen Anziehungen folgten dem gleichen Gesetze wie die Wirkung der Gravitation; was Wunder, wenn man glaubte, durch Annahme einer ähnlichen Fernwirkung die Erscheinungen in der einfachsten Weise erklärt, sie auf den letzten erkennbaren Grund zurückgeführt zu haben.

War der eingeschlagene Weg gleichwohl eine falsche Fährte, so konnte Warnung nur kommen von einem Geiste, der von neuem unbefangen den Erscheinungen gegenübertrat, der wieder ausging von dem, was er sah und nicht von dem, was er gehört, gelernt und gelesen hatte. Ein solcher Geist war Faraday. Faraday hörte zwar sagen, daß man bei der Elektrisierung eines Körpers etwas in ihn hineinbringe, er sah aber, daß die eintretenden Änderungen nur außerhalb des Körpers sich bemerkbar machten und durchaus nicht im Innern. Faraday wurde gesagt, daß die Kräfte den Raum einfach übersprängen, er sah

jedoch, daß es von größtem Einfluß war, welcher Stoff den angeblich übersprungenen Raum erfüllte. Saraday las, daß es Elektrizitäten sicher gebe, daß man aber über ihre Kräfte sich streite, und doch sah er, wie diese Kräfte ihre Wirkungen greifbar entfalteten, während er von den Elektrizitäten selbst nichts wahrzunehmen vermochte. So kehrte sich in seiner Vorstellung die Sache um. Die elektrischen und magnetischen Kräfte selbst wurden ihm das Vorhandene, das Wirkliche, das Greifbare; die Elektrizität und der Magnetismus dagegen wurden ihm Dinge, über deren Vorhandensein man streiten kann. Die Kraftlinien, wie er die selbständig gedachten Kräfte nannte, standen vor seinem geistigen Auge im Raume als Zustände desselben, als Spannungen, Wirbel, Strömungen, als was auch immer, das vermochte er selbst nicht anzugeben. Aber da standen sie, beeinflussten einander, schoben und drängten die Körper hin und her und breiteten sich aus, von Punkt zu Punkt einander die Erregung mitteilend. Auf den Einwand, wie denn im leeren Raume andere Zustände als vollkommene Ruhe möglich seien, konnte er antworten: Ist denn der Raum leer? Zwingt uns nicht schon das Licht, ihn als erfüllt zu denken? Könnte nicht der Äther, welcher die Wellen des Lichtes leitet, auch fähig sein, Änderungen aufzunehmen, die wir als elektrische und magnetische Kräfte bezeichnen?

Soweit etwa kam Saraday in seinen Anschauungen, seinen Vermutungen. Beweisen konnte er sie nicht; doch suchte er eifrig nach Beweisen. Untersuchungen über den Zusammenhang von Licht, Magnetismus, Elektrizität waren Lieblingsgegenstände seines Forschens. Unter den vielen Fragen, die er sich beständig vergegenwärtigte, kehrte immer die Frage wieder, ob die elektrischen und magnetischen Kräfte Zeit zu ihrer Ausbreitung nötig hätten. Die Versuche gaben einstweilen keine Auskunft, und auch der Theorie lag ein Eingehen auf Saradays Gedanken zunächst fern. Da erweiterte der Engländer Maxwell die elektrischen Formeln in der Weise, daß sie alle bekannten Erscheinungen, daneben aber auch noch eine unbekannte Klasse von Erscheinungen zum Ausdruck brachten, nämlich elektrische Wellen. Diese Wellen waren Transversalwellen, deren Länge jeden Wert haben konnte, die sich aber im Äther

stets mit gleicher Geschwindigkeit, und zwar mit der Lichtgeschwindigkeit, fortpflanzten. Und nun konnte Maxwell darauf hinweisen, daß es Wellen von eben solchen geometrischen Eigenschaften in der Natur ja wirklich gebe, wenn wir auch nicht gewohnt sind, sie als elektrische Erscheinungen zu betrachten, sondern sie mit einem besonderen Namen, nämlich als Licht bezeichnen.

Die Maxwell'sche Theorie glich einem Gewölbe, das einen tiefen Abgrund voll des Unbekannten überspannte. Alles, was man lange Zeit zur Kräftigung dieses Gewölbes zu tun vermochte, bestand darin, daß man die beiden Widerlager verstärkte. Um indes auf dem Gewölbe als sicherer Grundlage weiter in die Höhe zu bauen, waren besondere Hauptpfeiler notwendig, welche, vom festen Boden aus aufgemauert, die Mitte des Gewölbes faßten. Einem solchen Pfeiler würde der Nachweis zu vergleichen sein, daß wir aus dem Lichte unmittelbar elektrische und magnetische Wirkungen erhalten können. Ein anderer Pfeiler wäre der Nachweis, daß es Wellen elektrischer und magnetischer Kraft gibt, die sich nach Art der Lichtwellen ausbreiten können. Eine harmonische Vollendung des Gebäudes wird den Aufbau beider Pfeiler erfordern. Für das erste Bedürfnis aber genügt einer von ihnen. Der erste Pfeiler hat noch nicht in Angriff genommen werden können¹⁾; für den zweiten aber ist es nach langem Suchen endlich geglückt, einen sicheren Stützpunkt zu finden.

Wir wissen seit lange, daß der Entladungsschlag der Leydener Flasche kein gleichförmig ablaufender Vorgang ist, sondern daß er sich, ähnlich dem Schlage einer Glocke, aus einer großen Zahl von Schwingungen, von hin und her gehenden Entladungen, zusammensetzt, die sich in genau gleichen Perioden folgen. Man kann auf den Gedanken kommen, die einzelne Schwingung als Zeichen zu benutzen. Aber leider füllten die kürzesten beobachteten Schwingungen immer noch das volle Millionstel der Sekunde aus. Während eine solche Schwingung verlief, breitete sich ihre Wirkung schon über 300 m aus. Unter besonderen Umständen

¹⁾ Auch der erste der von Herz geforderten Nachweise ist seitdem erbracht.

kann indessen die Entladung jedes beliebigen Leiters zu Schwingungen Anlaß geben, und diese Schwingungen können viel kürzer sein als die der Leydener Flaschen. Wenn Sie z. B. den Konduktor einer Elektrifiziermaschine entladen, erregen Sie Schwingungen, deren Dauer zwischen dem hundertmillionsten und dem tausendmillionsten Teil einer Sekunde liegt. Freilich folgen sich diese Schwingungen nicht in lang anhaltender Reihe; es sind wenige, schnell verlöschende Zuckungen. Aber sie würden uns noch wenig nützen, wenn wir nicht imstande wären, ihre Wirkung bis in die beabsichtigte Entfernung von etwa 10 m auch wirklich wahrzunehmen. Es gibt hierfür ein sehr einfaches Mittel. Dorthin, wo wir die Kraft wahrnehmen wollen, bringen wir einen Leiter, etwa einen Draht, welcher durch eine feine Funkenstrecke unterbrochen ist. Die rasch wechselnde Kraft setzt die Elektrizität des Leiters in Bewegung und läßt einen Funken in ihm auftreten. Auch dieses Mittel mußte durch die Erfahrung selbst an die Hand gegeben werden, die Überlegung konnte es nicht wohl voraussehen. Die Funken sind nämlich mikroskopisch klein, kaum $\frac{1}{100}$ mm lang, und ihre Dauer beträgt noch nicht den millionsten Teil einer Sekunde. Es erscheint unmöglich, daß sie sichtbar sein sollten; indes im völlig dunklen Zimmer, für das geschonte Auge sind sie dennoch sichtbar. An diesem dünnen Faden hängt das Gelingen unseres Unternehmens. Zunächst drängt sich uns eine Fülle von Fragen auf. Unter welchen Umständen werden unsere Schwingungen am stärksten? Welche Form geben wir am besten dem empfangenden Leiter? Haben wir die Form festgesetzt, welche Größe wählen wir? Schnell zeigt sich, daß Beziehungen zwischen den Schwingungen und den empfangenden Leitern bestehen, die an die Resonanzerscheinungen der Akustik erinnern. Geben Sie einem Physiker eine Anzahl Stimmgabeln, eine Anzahl Resonatoren, und fordern Sie ihn auf, Ihnen die zeitliche Ausbreitung des Schalles nachzuweisen; er wird selbst in dem beschränkten Raume eines Zimmers keine Schwierigkeiten finden. Er stellt eine Stimmgabel auf, er horcht mit dem Resonator an den verschiedenen Stellen des Raumes herum und achtet auf die Schallstärke. Er zeigt, wie letztere in einzelnen Punkten sehr klein wird;

er zeigt, wie dies daher rührt, daß hier jede Schwingung aufgehoben wird durch eine andere, später abgegangene, die auf einem kürzeren Wege zum gleichen Ziele gelangt ist. Wenn ein kürzerer Weg weniger Zeit erfordert als ein längerer, so ist die Ausbreitung eine zeitliche. Die gestellte Aufgabe ist somit gelöst. Aber unser Akustiker zeigt uns nun weiter, wie die stillen Stellen periodisch in gleichen Abständen sich folgen; er mißt daraus die Wellenlänge. Und wenn er die Schwingungsdauer der Gabel kennt, erhält er daraus auch die Geschwindigkeit des Schalles. Nicht anders, sondern genau so verfahren wir mit unseren elektrischen Schwingungen. An die Stelle der Stimmgabel setzen wir den schwingenden Leiter; anstatt des Resonators ergreifen wir unseren unterbrochenen Draht, den wir daher auch als elektrischen Resonator bezeichnen. Wir bemerken, daß dieser Draht an einzelnen Stellen des Raumes Funken zeigt, an anderen dagegen funkenfrei ist; wir sehen ferner, wie sich die toten Stellen nach festen Gesetzmäßigkeiten periodisch folgen. Die zeitliche Ausbreitung ist damit erwiesen, die Wellenlänge meßbar geworden. Man wirft die Frage auf, ob die gefundenen Wellen Longitudinal- oder Transversalwellen seien. Wir halten unseren Draht in zwei verschiedenen Lagen in dieselbe Stelle der Welle. Das eine Mal spricht er an, das andere Mal nicht. Mehr bedarf es nicht. Die Frage ist entschieden; es sind Transversalwellen. Man fragt nach ihrer Geschwindigkeit. Wir multiplizieren die gemessene Wellenlänge mit der berechneten Schwingungsdauer und finden eine Geschwindigkeit, welche der des Lichtes verwandt ist.

All diese Versuche sind im Grunde sehr einfach, aber sie führen doch die wichtigsten Folgerungen mit sich. Sie sind vernichtend für jede Theorie, welche die elektrischen Kräfte als zeitlos den Raum überspringend ansieht. Sie bedeuten einen glänzenden Sieg der Lehre Maxwells.

Können wir mit Hilfe der elektrischen Wellen unmittelbar die Erscheinungen des Lichtes nachahmen, so bedürfen wir nicht einmal einer Theorie als Vermittlerin; die Verwandtschaft beider Kräfte tritt dann nämlich aus den Versuchen selbst hervor. Solche Versuche sind in der That möglich. Wir bringen den Leiter, welcher die Schwin-

gungen erregt, im Brennpunkt eines sehr großen Hohlspiegels an. Es werden dadurch die Wellen zusammengehalten, so daß sie als kräftiger Strahl aus dem Hohlspiegel austreten. Freilich können wir diesen Strahl nicht unmittelbar sehen, noch fühlen; seine Wirkung äußert sich aber dadurch, daß er Funken in den Leitern erregt, auf die er trifft. Er wird für unser Auge erst sichtbar, wenn sich dasselbe mit einem unserer Resonatoren bewaffnet. Im übrigen ist er ein wahrer Lichtstrahl. Wir können ihn durch Drehung des Spiegels in verschiedene Richtungen senden; wir können durch Auffuchung des Weges, den er nimmt, seine geradlinige Ausbreitung nachweisen. Bringen wir leitende Körper in seinen Weg, so lassen sie den Strahl nicht hindurch, sie werfen Schatten. Dabei vernichten sie den Strahl aber nicht, sondern sie werfen ihn zurück. Wir können den reflektierten Strahl verfolgen und uns überzeugen, daß die Gesetze, denen er gehorcht, die Gesetze der Reflexion des Lichtes sind. Auch brechen können wir den Strahl in der gleichen Weise wie das Licht. Um einen Lichtstrahl zu brechen, leiten wir ihn durch ein Prisma; er wird dadurch von seinem geraden Wege abgelenkt. Ebenso verfahren wir mit dem elektrischen Strahl, und zwar mit dem gleichen Erfolge. Nur müssen wir hier, entsprechend den Dimensionen der Wellen, ein sehr großes Prisma nehmen. Wir stellen es aus einem billigen Stoffe her, etwa aus Pech oder aus Asphalt. Endlich aber können wir sogar diejenigen Erscheinungen an unserem Strahle verfolgen, die man bisher einzig und allein am Lichte beobachtet hat, die Polarisationserscheinungen nämlich. Durch Einschiebung eines Drahtgitters von geeigneter Struktur in den Weg des Strahles lassen wir die Funken in unserem Resonator aufleuchten oder verlöschen, genau nach den gleichen geometrischen Gesetzmäßigkeiten, nach welchen wir das Gesichtsfeld eines Polarisationsapparates durch Einschieben einer Kristallplatte verdunkeln oder erhellen.

Soweit die Versuche. Bei Anstellung derselben stehen wir schon voll und ganz im Gebiete der Lehre vom Lichte. Indem wir die Versuche planen, indem wir sie beschreiben, denken wir schon nicht mehr elektrisch, wir denken optisch. Wir sehen nicht mehr in den Leitern Ströme fließen, Elek-

trizitäten sich ansammeln; wir sehen nur noch die Wellen in der Luft, wie sie sich kreuzen, sich vereinigen, sich stärken und schwächen. Von dem Gebiete rein elektrischer Erscheinungen ausgehend, sind wir Schritt für Schritt zu rein optischen Erscheinungen gelangt. Die Paßhöhe ist überschritten; der Weg senkt, ebnet sich wieder. Die Verbindung zwischen Licht und Elektrizität, welche die Theorie ahnte, vermutete, vorausah, ist hergestellt, den Sinnen faßlich, dem Geiste verständlich. Von dem höchsten Punkte, den wir erreicht haben, von der Paßhöhe selbst, eröffnet sich ein weiter Einblick in beide Gebiete. Sie erscheinen uns größer, als wir sie bisher gekannt. Die Herrschaft der Optik beschränkt sich nicht mehr auf Ätherwellen, welche kleine Bruchteile des Millimeters messen, sie gewinnt Wellen, deren Längen nach Dezimetern, Metern, Kilometern rechnen. Und trotz dieser Vergrößerung erscheint sie uns, von hier gesehen, nur als ein kleines Anhängsel am Gebiete der Elektrizität. Dieses letztere gewinnt am meisten. Wir erblicken Elektrizität an tausend Orten, wo wir vorher von ihrem Vorhandensein keine sichere Kunde hatten. In jeder Flamme, in jedem leuchtenden Atome sehen wir einen elektrischen Prozeß. Auch wenn ein Körper nicht leuchtet, solange er nur noch Wärme ausstrahlt, ist er der Sitz elektrischer Erregungen. So verbreitet sich das Gebiet der Elektrizität über die ganze Natur.

Durch die Versuche von Hertz trat das schon alte Problem der Telegraphie ohne Draht in ein neues, Aussicht auf die besten Erfolge darbietendes Stadium. Seit dem Jahre 1890 sehen wir zahlreiche Physiker und Elektrotechniker bemüht, die Funkentelegraphie durch eine zweckentsprechende Ausgestaltung der grundlegenden Apparate den Bedürfnissen der Praxis anzupassen. Der Erfolg war, wie bekannt, ein überraschender. Ist es doch der drahtlosen Telegraphie gelungen, eine Verständigung auf eine Entfernung von Tausenden von Kilometern herbeizuführen.

* * *

Das Gebiet der elektrischen Strahlung steht heute im Mittelpunkt des Interesses. Eine, wenn auch nur skizzenhafte, Darstellung der Entwicklung dieses Forschungsgebietes soll daher den Schluß unserer Darstellung bilden.

Auf die Erscheinungen, die der elektrische Funke bei seinem Durchgange durch evakuierte Röhren darbietet, war man schon im

18. Jahrhundert aufmerksam geworden. Um die Mitte des 19. Jahrhunderts gelang es Geißler, mit Hilfe der Quecksilberluftpumpe Glasröhren in solchem Maße zu evakuieren, daß sich in ihnen nur noch eine äußerst geringe Menge Gas oder Dampf befand. In einer solchen Röhre machen sich eigentümliche Erscheinungen bemerkbar. Bei Entladungen füllt sich die Röhre mit einem Licht, das von der Kathode (dem negativen Pol) ausgeht und das Glas, sowie Mineralien zur Fluoreszenz bringt. Wird ein metallischer Körper (b) der Kathode (a) gegenüber angebracht (Abb. 25), so wirft er einen von der Kathode fortgerichteten Schatten (d). Das beweist, daß Strahlen von der Kathode ausgehen, die sich gradlinig fortpflanzen.

Im Jahre 1895 entdeckte Röntgen, daß von den Stellen, die von den Kathodenstrahlen getroffen werden, unsichtbare Strahlen

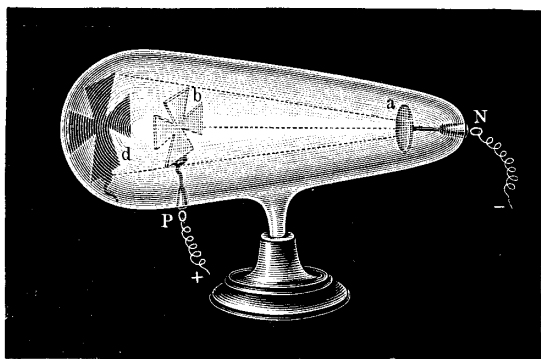


Abb. 25. Geradlinige Fortpflanzung der Kathodenstrahlen.

ausgehen, welche fluoreszierende Substanzen zum Leuchten bringen und auf die photographische Platte wirken. Ihre Fähigkeit, auch manche undurchsichtigen Stoffe, wie die Haut und das Fleisch, zu durchdringen, hat bekanntlich zu einer wichtigen Anwendung der Röntgenstrahlen auf dem Gebiete der ärztlichen Untersuchung geführt.

Im Jahre 1896 entdeckte Becquerel dunkle Strahlen, die im Gegensatz zu den Kathoden- und den Röntgenstrahlen ohne Mitwirkung von elektrischen Entladungen entstehen. Becquerel bemerkte nämlich, daß ein Uransalz durch eine undurchsichtige Substanz hindurch auf die photographische Platte wirkte. In ihrem weiteren Verfolg führte diese Beobachtung auf die Entdeckung des Radiums durch das Ehepaar Curie. Diese isolierten aus dem Mineral Uranpecherz ein Salz eines bisher unbekannten Elementes, das sich als

der Träger der neuen, später als Radioaktivität bezeichneten Eigenschaft erwies. Daß es sich hier tatsächlich um ein neues Element handelte, wurde mit Hilfe der Spektralanalyse nachgewiesen. Das Spektroskop ließ nämlich in den aus der Lösung des Uranpecherzes erhaltenen Niederschlägen eine Linie von bestimmter Lage im Spektrum erkennen, die keinem bekannten Element entsprach. Diese Linie wurde immer deutlicher, je mehr man durch geeignete Konzentration das Strahlungsvermögen der aus dem Erz gewonnenen radioaktiven Masse erhöhte.

Eine Vorführung der Radiumpräparate erregte im Jahre 1899 das größte Aufsehen der zu einer Tagung versammelten deutschen Naturforscher und Ärzte. Bei dieser Demonstration war ein Radiumpräparat in eine 12 mm dicke Bleikapsel eingeschlossen. Trotzdem erregten die Strahlen das Aufleuchten eines des Bleikapsel genäherten Baryumplatincyankürschirmes, der ein zum Nachweis der durch das Radium hervorgerufenen Fluoreszenzwirkungen besonders geeignetes Mittel ist.

Mit dem Beginn des 20. Jahrhunderts wurde die genauere Erforschung der Radioaktivität von vielen Forschern in Angriff genommen. Man entdeckte, daß sich bei dem Vorgange mehrere Strahlenarten (α -, β -, γ -Strahlen) unterscheiden lassen, und daß mit der Strahlung eine Gewichtsverminderung verbunden ist. Die Strahlung besteht also wenigstens teilweise in einer Absonderung von Substanz. Man hat diese gasförmige Substanz rein dargestellt und Emanation genannt. Man bemerkte ferner, daß sich die Emanation in das Element Helium umwandelt, das sich gleichfalls im Uranpecherz findet und das zuerst spektroskopisch als Bestandteil der Sonne beobachtet wurde. Nach den neuesten Ergebnissen sind die Teilchen der α -Strahlen positiv geladene Heliumatome. Die β -Strahlen sind dagegen negative Elektronen. Nach der von H. A. Lorentz begründeten Theorie ist die Elektrizität an Masse gebunden. Die Massenteilchen (Elektronen), die als die Träger der negativen Elektrizität betrachtet werden, sind etwa zweitausendmal leichter als die Atome des Wasserstoffs, dem die Chemie das kleinste Atomgewicht zuschreibt. Die Kathodenstrahlen stellen sich nach dieser Theorie als abgeschleuderte Elektronen dar. Seitdem man gefunden, daß die radioaktiven Stoffe ohne äußere Einwirkung Elektronen ausenden, hat man sich der schon lange vor der Entdeckung des Radiums begründeten Elektronentheorie mit doppeltem Interesse zugewandt. Die Ursache der Radioaktivität erblickt man heute darin, daß kompliziert gebaute Atome einem Zerfall unterliegen, der mit einem Freiwerden erheblicher Energiemengen verbunden ist.

Zum Schlusse soll noch einiges aus einem Vortrage mitgeteilt

werden, in dem ein hervorragender Forscher auf dem Gebiete der Radioaktivität der Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte einen Überblick über die wichtigsten Ergebnisse der Radiumforschung gegeben hat ¹⁾).

„Die Entdeckung der Radioaktivität wurde erst ermöglicht und ihre Erforschung wurde sehr erleichtert durch die vorangegangenen Untersuchungen über die unsichtbaren Strahlen und die Elektrizitätsleitung in Gasen. So ließen sich die Methoden, die zum Nachweise der Röntgenstrahlen benutzt werden, ohne weiteres auf die neue Art unsichtbarer Strahlen übertragen.

Schon Becquerel erkannte, daß die von ihm aufgefundenen Strahlen, die vom Uran und seinen Verbindungen ausgesandt werden, den Röntgenstrahlen verwandt sind und erschloß so den Weg, ihr Verhalten, außer mittels der photographischen Platte, durch deren Verwendung er sie entdeckte, auch durch ihr Vermögen, die durchstrahlten Gase elektrisch leitend zu machen, zu studieren. Diesen beiden Methoden fügte dann das Ehepaar Curie die dritte, ebenfalls den Erfahrungen an den Röntgenstrahlen entnommene hinzu, nämlich die Prüfung am Leuchtschirm. Von diesen drei Methoden ist bekanntlich die elektrische von einer Empfindlichkeit gegenüber dem Vorhandensein radioaktiver Stoffe, wie sie von keiner zweiten physikalischen oder chemischen Methode auch nur annähernd erreicht wird. Ist doch der billionste Teil eines Gramms Radium durch sie quantitativ noch nachweisbar. Das war das Rüstzeug, mit dem an die Erschließung des neuen Gebiets herangegangen wurde.

Die Versuche Becquerels über die Strahlung des Urans und seiner Salze wurden vielerorts wiederholt und bestätigt. Jedem, der sich mit diesem neu eröffneten Zweige physikalischer Forschung beschäftigte, drängte sich schon damals die Frage auf: Woher stammt die Energie dieser Strahlung? Alle Mutmaßungen, welche diese auf eine Aufnahme von außen zurückführen wollten, erwiesen sich als falsch. Weder Belichtung mit langwelligem noch mit

¹⁾ Prof. Elsters Vortrag auf der 81. Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte, am 23. September 1909.

kurzweiligem Licht, weder Bestrahlung mit Röntgenstrahlen, noch eine hohe, noch die niedrigste erreichbare Temperatur vermochten sie zu beeinflussen. Für die Geophysik wäre die Entscheidung der Frage von Bedeutung, ob Druckkräfte von der Größe, wie sie im Inneren der Erde herrschen, eine Verlangsamung oder gar eine Aufhebung des als Atomzerfall gedeuteten Vorgangs der Radioaktivität bewirken können. Versuche, die in dieser Richtung angestellt wurden und bei denen man ein Radiumpräparat einem Druck von 2000 Atmosphären aussetzte, hatten indes ein negatives Ergebnis.

Nachdem auch das Thorium als radioaktiv erkannt worden war, erhielt die radioaktive Forschung einen mächtigen Impuls durch die glänzenden, weltbekannten Entdeckungen des Ehepaares Curie. Der Abscheidung des Poloniums und des Radiums durch die Genannten folgte bald die Auffindung des Aktiniums und des Emaniums. Heute besteht indes kein Zweifel mehr, daß die beiden zuletzt genannten Stoffe identisch sind. Eine ganz eigenartige Stellung nimmt das Blei gegenüber dem Radium und seinen Zerfallprodukten ein. Im Handel erhältliches Blei, dessen Reduktion aus Bleierzten zeitlich nicht zu weit zurückliegt, weist fast stets eine mehr oder minder deutliche, unsichtbare Strahlung auf. Diese Tatsache hat eine Zeitlang Anlaß gegeben, die Radioaktivität als eine allgemeine Eigenschaft der Materie anzusprechen. Diese Anschauung verlor indes ihre wesentlichste Stütze, als es gelang, die Radioaktivität des Bleis mit Sicherheit auf einen Gehalt an Polonium zurückzuführen.

Von den übrigen Elementen weisen, soviel bis jetzt bekannt, nur die beiden Metalle Kalium und Rubidium eine zwar sehr geringe, aber deutlich erkennbare Aktivität auf. Eine Verunreinigung durch bekannte Radioelemente liegt hier nicht vor.

Kehren wir zu jenem Zeitpunkte zurück, in welchem radioaktive Präparate auch anderen Forschern zugänglich gemacht wurden, so sehen wir auf allen Seiten die Bemühungen zunächst darauf gerichtet, über die Natur der von den Elementen ausgehenden Strahlung ins reine zu kommen. So gelang es, die Ablenkung der Strahlen im

Magnetfelde ohne weiteres im lusterfüllten Raume am Leuchtschirm sichtbar zu machen. Bald darauf zeigte Becquerel die magnetische Ablenkung der Radiumstrahlen auch auf photographischem Wege.

Die Schlüsse, die aus dem Verhalten der Radiumstrahlung im Magnetfelde gezogen werden konnten, sind nicht nur für die Weiterentwicklung der radioaktiven Forschung von grundlegender Bedeutung geworden, sondern haben auch auf dem gesamten Gebiete der Elektrotechnik anregend und befruchtend gewirkt. Die erste Folgerung von großer Tragweite aus dem Verhalten des Radiums im magnetischen Felde zog P. Curie. Er fand die besonderen Artunterschiede der Strahlung, die später durch den Nachweis der Existenz der α - und β -Strahlen ihre physikalische Deutung fanden. Auch wurde man darauf aufmerksam, daß in der Gesamtstrahlung des Radiums noch eine dritte Teilstrahlung vorhanden sei, ausgezeichnet durch große, durchdringende Kraft und gänzliche Unempfindlichkeit gegenüber äußeren magnetischen Kräften.

Diese γ -Strahlung, wie sie heute genannt wird, wurde bislang analog der Röntgenstrahlung, mit der sie wohl ohne Frage nahe verwandt ist, als hervorgerufen durch Impulse im Äther aufgefaßt. Von anderer Seite wird den γ -Strahlen korpuskulare Natur zugeschrieben. Da den γ -Strahlen die Ablenkbarkeit im magnetischen und elektrischen Felde abgeht, so sind sie experimentell ebenso schwierig faßbar wie die Röntgenstrahlen und ihrer Struktur nach ebenso unbekannt wie diese.

Im Gegensatz hierzu sind wir über die Entstehung und den Bau der α - und β -Strahlen bis ins einzelne orientiert. Es ist erstaunlich, zu wie großen experimentellen und theoretischen Erfolgen die grobsinnliche Auffassung dieser Gebilde als Schwärme kleinster elektrischer Projektile geführt hat, deren jedes einzelne aus dem Verbande des Atoms mit einer Geschwindigkeit herausgeschleudert wird, deren Größe an die des Lichtes heranreicht.

Aus dem Verhalten der β -Strahlen im magnetischen und elektrischen Felde geht hervor, daß sie den Kathodenstrahlen ihrer Natur nach nahe verwandt sind. Ein direkter Beweis für die korpuskulare Natur der β -Strahlen muß in

der Beobachtung erblickt werden, nach der durch den Anprall der β -Teilchen ein Baryumplatincyanürschirm zu szintillierender Phosphoreszenz angeregt werden kann.

Im Beginn der Radiumforschung nahm das Studium der β -Strahlung fast ausschließlich das Interesse der Physiker in Anspruch. Die Erkenntnis, daß die α -Strahlung für die Art des strahlenden Körpers kennzeichnend ist und wir somit in ihr ein Mittel besitzen, die Frage nach der elementaren Natur einer aktiven Substanz zu entscheiden, hat sich erst relativ langsam Bahn gebrochen.

Die Tatsache, daß die α -Strahlung um so leichter absorbierbar ist, je dickere Schichten an Materie sie bereits durchsekte, veranlaßte Frau Curie, die α -Teilchen mit Projektilen zu vergleichen, die, indem sie ein Hindernis überwinden, einen Teil ihrer lebendigen Kraft einbüßen. Später gelangte man zu der Annahme, die α -Strahlen beständen aus positiv geladenen und mit großer Geschwindigkeit fortgeschleuderten Teilchen. Den Beweis hierfür erbrachte Rutherford. Ihm glückte es, den Betrag, um den diese Strahlen im elektrischen und magnetischen Felde abgelenkt werden, zahlenmäßig festzustellen, sowie auch das besonders schwierige Problem zu lösen, die von den α -Strahlen mitgeführte positive Ladung nachzuweisen. Unter gewissen Annahmen konnte er schon damals, wenn auch indirekt, die Zahl der in der Sekunde ausgesandten α -Teilchen ableiten.

Darauf fand man eine Methode zur unmittelbaren Zählung dieser Partikelchen. Das Zinksulfid hat bekanntlich die Eigenschaft, unter dem Einflusse der α -Strahlen szintillierend zu phosphoreszieren. Unter der Voraussetzung — die sich nachträglich als berechtigt erwiesen hat —, daß jedes aufblitzende Lichtpünktchen durch den Anprall eines α -Teilchens hervorgerufen werde, läßt sich die Zahl der in einer Sekunde auf eine Fläche von bestimmter Größe auftreffenden α -Teilchen durch mikroskopische Auszählung der Lichtpünktchen bestimmen. Es ist von hohem Interesse, daß man auf elektrometrischem Wege die ermittelte Zahl bestätigen konnte. So ergab sich die Anzahl der von 1 g Radium in der Sekunde ausgesandten α -Teilchen zu $3,4 \cdot 10^{10}$. Mißt man außer der Zahl dieser Teilchen auch

die mitgeführte Elektrizitätsmenge in absolutem Maße, so läßt sich aus diesen Daten ein Mittelwert für die von einem α -Teilchen transportierte elektrische Ladung ableiten.

Jeder einheitliche, α -Partikelchen aussendende Körper vermag in Luft von normaler Dichte nur Strahlen bestimmter Reichweite auszusenden. Die Reichweite ist für das betreffende Radioelement eine charakteristische Konstante und kann zu seiner Bestimmung dienen. Durchsetzen die α -Strahlen eine Luftschicht von bestimmter Dicke, so verlieren sie, ohne daß ihre Anzahl sich verringert, in einer bestimmten Entfernung vom Ausgangspunkt plötzlich und unvermittelt ihre photographische Wirksamkeit und ihre Fähigkeit, auf den Zinksulfidschirm zu wirken. Dieses Verhalten ist um so auffallender, als sich die α -Teilchen am scheinbaren Ende ihrer Flugbahn noch mit $\frac{1}{20}$ Lichtgeschwindigkeit weiter bewegen und noch 40 % ihrer ursprünglichen Energie besitzen.

Daß das α -Teilchen nach Verlust seiner positiven Ladung ein Heliumatom wird, machte Rutherford wahrscheinlich. Neuerdings ist es ihm gelungen, die Umwandlung der α -Teilchen in Heliumatome direkt zu zeigen. Ein dünnwandiges Glasröhrchen wird mit Radiumemanation gefüllt. Die die sehr dünne Glaswandung durchsetzenden α -Teilchen gelangen in einen möglichst luftleeren Raum. Preßte man den Gasinhalt dieses Raumes nach zwei Tagen mittels Quecksilber in eine Glaskapillare, so ließ sich in dieser spektralanalytisch das Helium nachweisen. Nach dem Mitgeteilten unterliegt es keinem Zweifel, daß die α -Strahlen aus einem Schwarm positiv geladener Korpuskeln bestehen.

Schon aus den Versuchen während des ersten Stadiums der Radiumforschung kamen mehrere Forscher fast gleichzeitig zu der Anschauung, daß sich der Vorgang der fraglichen Strahlung im Atom unter gleichzeitiger Änderung der elementaren Eigenschaften der strahlenden Substanz abspiele. Der Gedanke lag nicht fern, daß die Atome eines radioaktiven Elementes nach Art der Moleküle einer instabilen Verbindung unter Energieabgabe in den stabilen Zustand übergehen. Diese Vorstellung führte zu der Annahme einer allmählichen Umwandlung einer aktiven Substanz in eine inaktive, und zwar folgerichtig unter Änderung

ihrer elementaren Eigenschaften. Das ist der Grundgedanke der von Rutherford aufgestellten und so glänzend entwickelten Zerfallstheorie. Durch diese Theorie wird das Energieprinzip gewahrt unter Verlegung eines Energievorrates in das Atom. Auch folgt aus ihr, daß jedem radioaktiven Körper eine bestimmte mittlere Lebensdauer zukommt, und daß man berechtigt ist, bei jeder aktiven Substanz die Frage nach ihrer Muttersubstanz aufzuwerfen. Der Umstand, daß der Radiumgehalt der Uranerze ihrem Gehalt an metallischem Uran proportional ist, gewährt ohne Zweifel eine gewisse Berechtigung, das Uran als Vorfahren des Radiums aufzufassen. Natürlich läßt sich dann auch sofort wieder die Frage nach der Muttersubstanz des Urans aufwerfen. Doch liegt bislang weder eine Veranlassung noch anscheinend eine Möglichkeit vor, über das Uran hinauszugehen.

Nachdem die Existenz einer radioaktiven Emanation in der Atmosphäre nachgewiesen war, entstand die Frage nach ihrem Ursprung. Die Quelle der Emanation wurde in einem Radiumgehalt des Erdbodens gefunden. Man entdeckte, daß ein primär aktiver Stoff in den Gesteinen der Erdoberfläche allgemein verbreitet ist, wenn auch nur in äußerst geringer Menge. Solange das Gestein chemisch intakt ist, vermag die von jenem Stoff ausgehende Emanation nicht auszutreten. Erst die verwitterte Substanz gibt, gleichsam aufgeschlossen durch die Einwirkung des Wassers und der Luft, α -Strahlen und Emanation aus. Die letztere häuft sich in den Kapillaren des Erdbodens an, löst sich im Grundwasser auf und verbreitet sich durch Diffusion in die Atmosphäre. Interessant ist, daß auch die Meteoriten, sofern sie nicht ganz aus Eisen bestehen, etwa in demselben Grade radiumhaltig sind wie die entsprechenden irdischen Gesteine.

Die Tatsache, daß die einem erloschenen Boden entstammende Kohlensäure, die bei Brohl am Rhein aus großen Tiefen emporquillt, besonders stark emanationshaltig erschien, veranlaßte, auf jene vulkanischen Produkte das Augenmerk zu richten, die aus dem Innern der Erde durch derartige Exhalationen zutage gefördert werden. Der in den Apotheken erhältliche Sango, ein Sediment eines

heißen Sprudels in Italien, bot sich als das nächstliegende Versuchsobjekt dar. So wurde ein einer Therme entstammender Stoff gefunden, in dem selbst auf chemischem Wege das Radium nachweisbar war.

Im Wasser von Quellen wurden Spuren von Radiumemanation bereits im Jahre 1902 nachgewiesen. Später hat man auch die Ölquellen auf Radioaktivität, und zwar mit positivem Ergebnis untersucht. Nachdem man ein einheitliches Maß für die Vergleichen der Radioaktivität eingeführt und einen handlichen Apparat angegeben, ist man überall bemüht, die dem Schoße der Erde entsprudelnden Quellen, von den unscheinbarsten Wasserläufen an bis zu den gewaltigen Geysirs, auf ihren Radiumgehalt zu prüfen.

Es erübrigt, noch auf jene merkwürdige Eigenschaft der radioaktiven Körper einzugehen, daß ein Radiumsalz stets wärmer ist als seine Umgebung. Die neuesten hierauf bezüglichen Präzisionsmessungen ergaben, daß 1 g metallisches Radium in der Stunde 118 Grammkalorien entwickelt. Auch hier ist es die Rutherford'sche Theorie, die bezüglich der Wärmeentwicklung des Radiums eine Vorstellung von den dabei auftretenden molekularen Vorgängen gibt. Indem die aus dem Atomverbande mit großer Geschwindigkeit herausgeschleuderten α -Teilchen zum überwiegenden Teile schon in der strahlenden Substanz selbst aufgehalten werden, setzen sie ihre kinetische Energie in Wärme um. Es folgt daraus, daß jeder α -Strahlen ausstrahlende Körper Wärme entwickeln muß. Entsprechend ihrer geringeren kinetischen Energie ist die Wärmeproduktion der β - und γ -Strahlen weit kleiner und kommt gegen die der α -Strahlen kaum in Betracht.

Wie wir sahen, ist die ionisierende Wirkung der α -Teilchen an eine bestimmte kritische Geschwindigkeit gebunden. Gesezt, die Umwandlung gewöhnlicher, nicht aktiver Materie existiere und ginge unter Entwicklung von α -Strahlen vor sich, deren Geschwindigkeit von vornherein unter jenem kritischen Werte bliebe, so würde sich diese Umwandlung unserer Wahrnehmung durch die eingangs skizzierten Methoden entziehen, sie müßte sich aber durch ihre Wärmeentwicklung verraten. Versuche, die in dieser Richtung an-

gestellt wurden, haben indes zu einem unzweideutigen Ergebnis nicht geführt.

Bei der großen Verbreitung des Radiums in der Erde ist in ihrem Radiumgehalt eine ausreichende Quelle für die Eigenwärme der Erde gefunden. Man hat die Radiummenge unseres Planeten berechnet, die hinreichen würde, um seinen augenblicklichen Wärmezustand aufrechtzuhalten. Das Ergebnis ist ein sehr merkwürdiges. Man findet, daß die Erde bei durchweg gleichförmigem Radiumgehalt eine viel größere Wärmemenge hervorbringt, als sie an den Weltenraum verliert. Dieser Widerspruch läßt sich nur dadurch lösen, daß man entweder annimmt, die Eigenwärme der Erde sei in steter Zunahme begriffen, oder ihr Radiumgehalt sei auf eine äußere, relativ dünne Schale beschränkt.

Daß das in irdischen Gesteinen enthaltene Helium seinen Ursprung radioaktiven Umwandlungen verdankt, ist kaum zweifelhaft. Wagt man die Annahme, daß alles in der Natur vorkommende Helium radioaktiven Herkommens ist, so gibt uns das Spektrum der Sonne und zahlreicher gasförmiger Nebel Kunde davon, daß auf dem Zentralkörper unseres Planetensystems und in jenen fernen Nebeln, deren Spektren deutlich die charakteristische Linie des Heliums aufweisen, radioaktive Prozesse im Gange sind oder einst im Gange waren, Prozesse von unvergleichlich viel größerer Ausdehnung, als sie sich in unserer Schöpfungsperiode auf der Erde abspielten.

Verzeichnis der Abbildungen.

Abb.

1. Guericks Elektrifiziermaschine; aus: Otto von Guericke, Über den leeren Raum 1672. Tafel 18. Fig. 5.
2. Elektrifiziermaschine aus dem Jahre 1744; aus: Gerland und Trau-
müller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst 1899.
Abb. 319.
3. Die Entdeckung der Berührungselektrizität.
4. Zuckungen des Froschschenkels bei der Entladung; aus: Galvanis
Abhandlung über die Kräfte der Elektrizität.
5. Zuckungen des Froschschenkels bei der Berührung mit Metallen;
aus: Galvanis Abhandlung über die Kräfte der Elektrizität.
6. Voltas Säule; aus Voltas Bericht von 1800 (Philos. Transactions).
7. Voltas Becherapparat; aus Voltas Bericht von 1800 (Philos. Trans-
actions).
8. Voltas zweiseitige Säule; aus Voltas Bericht von 1800 (Philos.
Transactions.)
9. Zambonis Trockensäule; aus: Gilberts Annalen von 1815.
10. Schema des elektrischen Ofens; aus: Moissan, Der elektrische
Ofen. Deutsch von Zettel. Berlin 1900. Abb. 1.
11. Elektromagnet.
12. Ampères beweglicher Stromleiter; aus: Ampère und Babinet,
Neue Entdeckungen. Tafel I. Fig. 2.
13. Ampères Vorrichtung zum Aufhängen des beweglichen Strom-
leiters; aus: Ampère und Babinet. Tafel I. Fig. 3.
14. Die Entdeckung der Thermoelektrizität; aus: Ostwalds Klassiker.
Bd. 70. Abb. 1.
15. Thermoelektrische Versuche mit Antimon und Wismut; aus:
Ostwalds Klassiker. Nr. 70. Abb. 2, 3 und 4.
16. Versuch über galvanische Induktion; aus: Poggendorfs Annalen.
Bd. 25. Tafel III. Abb. 1.
17. Elektrizitätserregung durch Magnetismus; aus: Poggendorffs
Annalen. Bd. 25. Tafel III. Abb. 2.
18. Die erste magnetoelektrische Maschine; aus: Gerland und Trau-
müller, Gesch. d. phys. Experimentierkunst. 1899. Abb. 394.

19. Magnetelektrische Maschine mit drehbarer Spule.
20. Schema einer Dynamomaschine.
21. Der Sprecher des von Reis konstruierten Telephons; aus: Hennig, Die Entwicklung der Telegraphie und Telephonie. Leipzig 1908. Abb. 58.
22. Der von Reis konstruierte Empfänger; aus: Hennig, Abb. 39.
23. Seddersens Nachweis der elektrischen Schwingungen; aus: Ostwalds Klassiker. Bd. 166. Tafel III. Abb. 15.
24. Schema des von Hertz benutzten Resonators; aus: Hertz, Gesammelte Werke. Bd. II. Fig. auf S. 43.
25. Nachweis der geradlinigen Fortpflanzung der Kathodenstrahlen; aus: La Tour und Appel, Die Physik. Bd. II. S. 433. Leipzig 1905.